

**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# SÄHKÖENERGIAN KÄYTÖN TEHOSTAMINEN ABLOY OY JOENSUUN TEHTAALLA

TEKIJÄ: Jesse Rummukainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Jesse Rummukainen			
Työn nimi Sähköenergian käytön tehostaminen Abloy Oy Joensuun tehtaalla			
Päiväys	18.5.2017	Sivumäärä/Liitteet	49/11
Ohjaajat Yliopettaja Juhani Rouvali ja lehtori Heikki Laininen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Abloy Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli tutkia, kuinka Abloy Oy Joensuun ovensuljintehtaan sähköenergian käyttöä voitaisiin tehostaa. Energiankäytön tehostamista selvitettiin valaistuksen, sähkön laadun ja energianseurannan kannalta. Opinnäytetyö on osa Abloy Oy:n ympäristöpolitiikkaa, jonka yksi osa-alue on energiatehokkuuden parantaminen.</p> <p>Ovensuljintehtaan valaistusvoimakkuusmittaukset mitattiin Tenmars TM 209 -valaistusvoimakkuusmittarilla nykyiselle loisteputkivalaistukselle ja tehtaan led-putkivalaistuksen koeasennusalueelle. Mittaustuloksia verrattiin valaistusstandardeihin SFS-EN 12464-1 ja SFS-EN 15193, joiden perusteella todettiin valolähteiden valon laatu ja energiatehokkuus. Lisäksi laskettiin valaistuksen vuosittaiset energia- sekä huoltokustannukset. Käyttökustannusten pohjalta selvitettiin led-putkivalaistuksen takaisinmaksuaika.</p> <p>Ovensuljintehtaan sähkön laadun mittauksilla selvitettiin, esiintyykö sähköverkossa jänniteominaisuuksiin vaikuttavia häiriöitä. Sähkön laatua mitattiin Fluke 435 II -tehoanalyysaattorilla yhteensä viikon ajan ovensuljintehtaan sähköpääkeskuksesta. Mittaustuloksia verrattiin sähkön laatustandardiin SFS-EN 50160, joka määrittelee raja-arvot ja kelujänniteominaisuuksille. Mittausten tarkoituksena oli selvittää, onko sähköverkossa sähkön laatua huonontavia tekijöitä ja aiheutuuko huonosta sähkön laadusta yritykselle ylimääräisiä taloudellisia kustannuksia.</p> <p>Ovensuljintehtaalte tehtiin suunnitelma energianseurantajärjestelmästä, jonka avulla voidaan seurata ja tehostaa energiankulutusta tehtaan eri osa-alueilla. Suunnitelma tehtiin olemassa olevan energianseurantajärjestelmän pohjalta, joten suunnitelman toteutettiin ovensuljintehtaan tarpeiden mukaisesti. Suunnitelmassa huomioitiin standardien ohjeistukset energianmittaus- ja energianhallintajärjestelmien toteutukseen.</p> <p>Valaistusvoimakkuusmittaustuloksista nähtiin, että yrityksen on kannattavinta toteuttaa ovensuljintehtaan valaistus energiansäästöystistä led-putkivalaistuksella. Valaistusstandardeihin verrattaessa led-putkivalaistus on valaistusvoimakkuudeltaan parempi ja energiatehokkaampi vaihtoehto kuin loisteputkivalaistus. Lisäksi led-putkivalaistuksen vuosittaiset käyttökustannukset ovat pienemmät ja sen investoinnin takaisinmaksuaika on vain yksi vuosi.</p> <p>Sähkön laadun mittaustulosten perusteella ovensuljintehdas täyttää sähkön laatustandardin vaatimat raja-arvot jänniteominaisuuksille. Sähkön laatu on siis hyvä ja loistehon kompensointi on toteutettu asianmukaisesti. Yritykselle ei aiheudu huomattavia kustannuksia sähkön laadun vuoksi.</p> <p>Energianseurantajärjestelmän suunnitelmassa mittauspisteiksi valittiin ovensuljintehtaan tärkeimpiä sähkökeskuksia, joista suurin osa oli kiinteistön jakokeskuksia. Suunnitelma toteutettiin pilvipalvelupohjaisesti, jotta kulutustietoja voitaisiin tarkastella reaaliaikaisesti älylaitteiden välityksellä. Lisäksi huomioitiin vaihtoehtoinen esitystapa kulutustietojen näyttämiseksi tehtaan info-tv-järjestelmän välityksellä, jolloin energiankulutusta voitaisiin havainnollistaa koko yrityksen henkilöstölle.</p>			
Avainsanat energianseurantajärjestelmä, energiatehokkuus, sähkön laatu, led-valaistus, loisteputkivalaistus			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Jesse Rummukainen			
Title of Thesis Optimizing the Use of Electrical Energy in Abloy Oy Joensuu factory			
Date	18 May 2017	Pages/Appendices	49/11
Supervisors Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer and Mr. Heikki Laininen, Lecturer			
Client Organisation/Partners Abloy Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study how the use of electrical energy could be improved in Abloy Oy door closer factory. Optimizing the use of electricity was found out as regards lighting, power quality and energy monitoring. The thesis is a part of Abloy Oy's environmental policy of which improving of energy efficiency is one part.</p> <p>The door closer factory's illuminance measurements were made with a Tenmars TM 209 lux-meter. Measurements were made on the factory's existing fluorescent lighting, and on led-lighting's test installation area. The results of measurements were compared to lighting standards SFS-EN 12464-1 and SFS-EN 15193. Quality of lighting sources and their energy efficiency were based on the lighting standards. Additionally, the yearly costs of energy and maintenance were calculated for both fluorescent and led-lighting. The repayment period was calculated for led-lighting based on its operating costs.</p> <p>The door closer factory's power quality was measured as regards disturbances in voltage features. Power quality was metered for one week with a Fluke 435 -power quality analyzer from the door closer factory's main distribution board. The measurement results were compared to the power quality standard SFS-EN 50160, which defines limiting values for voltage features. The purpose of the measurements was to find out degrading factors in the power grid and additional costs that poor power quality might cause to the company.</p> <p>The scheme about the energy monitoring system was made for the door closer factory, which would allow monitoring and optimizing the use of energy in different sectors of the factory. The scheme was made on the existing energy monitoring system that was customized to the needs of the door closer factory. The energy monitoring system was planned according to instructions of energy measurement standards that included guidance on the implementation of energy measurement and energy management system.</p> <p>According to the illuminance measurements, the most cost-effective way to implement lighting in the door closer factory would be led-lighting. Based on the lighting standards, led-lighting has better energy efficiency and illuminance ratings than fluorescent lighting. Moreover, the yearly costs of led-lighting are less than with fluorescent lighting and the repayment period for the led-lighting is only approximately one year.</p> <p>Based on the results, the door closer factory's power quality meets the requirements of the power quality standard. Based on the measurements, the quality of power is good and the reactive power compensation is made properly. Therefore, the power quality does not cause significant costs for the company.</p> <p>The most crucial switchboards were chosen as measurement points and many of them were building power distribution centers. The scheme was made as a cloud based service, in which energy consumption data could be monitored with smart devices and be displayed to the personnel of the company via the info-TV system.</p>			
Keywords energy monitoring system, energy efficiency, power quality, led-lighting, fluorescent lighting			
Public			

## ESIPUHE

Opinnäytetyön aiheen sain Abloy Oy:ltä syksyllä 2016, koska yrityksellä oli tarvetta tutkia energiatehokkuuden parantamista Joensuun tehtaalla. Opinnäytetyön aihe rajattiin koskemaan sähköenergian käytön tehostamista ovensuljintehtaalla.

Haluan kiittää saamastani opinnäytetyön aikaisesta ohjauksesta yliopettajaa Juhani Rouvalia sekä laatu- ja ympäristöpäällikköä Arto Koposta. Lisäksi haluan kiittää sähköasentajaa Jarkko Lintusta, koska hän mahdollisti opinnäytetyön käytännön työn toteuttamisen. Haluan myös kiittää Sensire Oy:tä, joka avusti ovensuljintehtaan energianseurantajärjestelmän suunnittelussa.

Kuopiossa 18.5.2017

Jesse Rummukainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
2	ABLOY OY.....	9
3	OVENSULJINTEHDAS .....	10
4	ENERGIATEHOKKUUDEN MERKITYS TEOLLISUUDESSA .....	11
4.1	Teollisuuden energiatehokkuus .....	11
4.2	Sähköenergian käytön tehostaminen teollisuudessa .....	11
4.3	SFS-EN ISO 50001 .....	12
5	VALAISTUS .....	14
5.1	Valaistustekniikan käsitteitä .....	14
5.2	Energiatehokas valaistus .....	15
5.3	Valaistusstandardit.....	16
5.3.1	SFS-EN 12464-1.....	16
5.3.2	SFS-EN 15193.....	16
5.4	Loisteputkivalaistuksen korvaaminen led-putkivalaistuksella.....	17
5.4.1	Loisteputkivalaistus .....	18
5.4.2	Led-putkivalaistus .....	19
6	SÄHKÖN LAATU.....	21
6.1	Sähkön laadun vaikutus energiatehokkuuteen.....	21
6.2	Kolmivaiheiset tehosuureet.....	21
6.3	SFS-EN 50160.....	22
6.3.1	Jännitetasen vaihtelut ja äkilliset muutokset .....	23
6.3.2	Ylijännitteet .....	23
6.3.3	Jännitekuopat .....	23
6.3.4	Epäsymmetria .....	24
6.3.5	Taajuus .....	24
6.3.6	Taajuus ja signaalijännitteet .....	24
6.3.7	Keskeytykset.....	24
6.3.8	Harmoniset ja epäharmonisen yliaaltojännitteet .....	25
7	ENERGIANSEURANTAJÄRJESTELMÄ .....	26
7.1	Energiatehokkuuden mittaus .....	26
7.2	Reaaliaikainen energianseurantajärjestelmä.....	26

7.3	Standardien mukaisen energianmittausjärjestelmän toteutus .....	27
8	VALAISTUKSEN UUDISTAMINEN OVENSULJINTEHTAALLA .....	29
8.1	Valaistuksen nykytilanne ja uudistamisen tavoite .....	29
8.2	Valaistusvoimakkuusmittaukset ja tulokset .....	29
8.3	Kustannuslaskenta ja takaisinmaksuaika.....	32
8.4	Valaistuksen energiatehokkuusindeksi .....	35
9	SÄHKÖN LAADUN MITTAUKSET OVENSULJINTEHTAALLA .....	36
9.1	Mittauksen tavoitteet ja toteutus.....	36
9.2	Sähkön laadun mittaukset ja tulokset .....	37
9.2.1	Kolmivaiheiset teho- ja energiasuureet .....	38
9.2.2	Jännitetasen muutokset.....	39
9.2.3	Jännitteen epäsymmetria.....	40
9.2.4	Verkkotaajuus.....	40
9.2.5	Verkon signaalijännitteet .....	40
9.2.6	Harmoniset ja epäharmoniset yliaaltojännitteet .....	40
10	SUUNNITELMA OVENSULJINTEHTAAN ENERGIANSEURANTAJÄRJESTELMÄSTÄ .....	42
10.1	Energiaseurantajärjestelmän tavoitteet ja tarkoitus .....	42
10.2	Energiaseurantajärjestelmän toteutus.....	42
10.2.1	Mittauspisteet .....	42
10.2.2	Suunnitelma ja sen toteutus .....	43
10.2.3	Energiaseurantapalvelu .....	44
11	YHTEENVETO.....	45
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	47
	LIITE 1: MITTALAITTEET .....	50
	LIITE 2: SFS-EN 50160 MÄÄRITTELEMÄT EHDOT JÄNNITEOMINAISUUKSILLE .....	51
	LIITE 3: ABLOY OY OVENSULJINTEHTAAN POHJAKUVA.....	52
	LIITE 4: TEHOSUUREET JA TEHOKERROIN.....	53
	LIITE 5: ENERGIANKULUTUS.....	54
	LIITE 6: TAAJUUDEN JA JÄNNITTEEN VAIHTELU .....	55
	LIITE 7: JÄNNITTEEN VÄLKYNTÄ.....	56
	LIITE 8: JÄNNITTEEN EPÄSYMMETRIA .....	57
	LIITE 9: VERKON SIGNAALIJÄNNITTEET .....	58

LIITE 10: YLEISNÄKYMÄ .....	59
LIITE 11: TILASTOT-NÄKYMÄ.....	60

## 1 JOHDANTO

Teollisuudessa energiatehokkuudesta on tullut merkittävä osa yrityksen toimintaa. Energiankäytön tehostamisella saavutetaan huomattavia taloudellisia kustannussäästöjä. Tehostamistoimilla vaikute-  
taan myös yrityksen ympäristöpolitiikkaan ja sen kilpailukykyyn kotimaisilla sekä kansainvälisillä mark-  
kinoilla. (Linna ja Nuutinen 2012, 6–7.)

Energiatehokas valaistus on merkittävä tekijä yrityksen energiatehokkuuden kannalta. Nykyisin teolli-  
suuden loisteputkivalaistus on kannattavaa korvata led-putkivalaistuksella lyhentyneiden takaisinmak-  
suaikojen ja energiansäästösyiden takia. Käyttöiltään led-putkivalaistus on pidempi ja ympäristöys-  
täväisempi vaihtoehto kuin ongelmajätteitä sisältävä loisteputkivalaistus. (Koskelainen 2013.)

Teollisuuden sähkön laatuun kannattaa kiinnittää huomioita, koska nykyinen tehoelektroniikan käytön  
lisääntyneisyys vaikuttaa sähkön laatuun huomattavasti. Tehoelektroniikan vaikutuksesta syntyvien  
harmonisten yliaaltojen häiriöt lisäävät kustannuksia lämpöhäviöinä ja ennenaikaisena sähkönlaittei-  
den rikkoutumisena. Myös jänniteominaisuuksien häiriöt, kuten jännitekuopat ja jännitekatkot voivat  
aiheuttaa tuotannollisia menetyksiä ja laitevaurioita. Teollisuuslaitosten sähkön laadun ongelmat ovat  
yleisiä ja monesti ongelmia on samanaikaisesti useita. (European Association of Electrical Contractors  
2006, 1.)

Teollisuudessa energiatehokkuutta seurataan usein vain kuukausitasolla, jolloin energiankulutuksen  
suurta vaihtelua lyhyellä aikavälillä on hankala havaita. Tästä syystä tarvittavia kehityskohteita ener-  
giankulutuksen kannalta ei välttämättä huomata tarpeeksi ajoissa. Energiankulutuksen seurannan on  
oltava reaaliaikaista, jotta voidaan havaita tehostamistoimenpiteitä vaativat kohteet. Energianseuran-  
tajärjestelmän kulutustietojen pohjalta voidaan vaikuttaa energiansäästötoimenpiteisiin ja luoda kehi-  
tysideoita energiankäytön tehostamiseksi. (Linna ja Nuutinen 2012, 12; Motiva Oy 2014, 2, 6.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, kuinka sähköenergiankäyttöä voidaan tehostaa Abloy  
Oy:n ovensuljintehtaalla. Työn toteutus tukee Abloy Oy:n ympäristöpolitiikkaa, jonka yksi osuus on  
tehtaan energiatehokkuuden parantaminen. Energiankäytön tehostamista tutkitaan valaistuksen, säh-  
kön laadun ja energianseurannan kannalta.



## 2 ABLOY OY

Abloy Oy on lukitusjärjestelmien valmistaja, joka yhdistää asiantuntemuksen ja turvallisuusalan lukitustuotteet. Se on osa Assa Abloy-konsernia, joka on yksi maailman johtavista oviympäristöratkaisujen välittäjistä. Konsernin tavoitteena on tarjota asiakkailleen monipuolisia vaihtoehtoja ovien turvalliseen avaamiseen, sulkemiseen ja lukitsemiseen. (Abloy Oy 2017a.)

Abloy Oy perustettiin alun perin vuonna 1918 nimellä Ab Låsfabriken-Lukkotehdas Oy. Yhtiön nimi vaihdettiin vuotta myöhemmin tuotepatentoimisen takia Ab Lukko Oy:ksi, josta on peräisin tuotenimi ABLOY. Ensimmäisen ABLOY-avaimen ja siihen käyvän lukkosylinterin kehitti konttorikonemekaanikko Emil Henriksson vuonna 1907, minkä jälkeen ensimmäiset ABLOY-lukot tulivat myyntiin kaksi vuotta myöhemmin. Emil Henrikssonin keksinnön pohjalta kehitetään edelleen uudenlaisia levyhaittasylinterijärjestelmiä. (Abloy Oy 2017b.)

ABLOY-tuotteita valmistetaan Suomessa kahdessa eri tehtaassa. Joensuussa sijaitseva tehdas koostuu kahdesta erillisestä tehdasrakennuksesta, päätehtaasta ja ovensuljintehtaasta, jotka valmistavat lukitustuotteita, ovensulkimia, rakennusheloja ja oviautomatiikkaa. Björkbodan tehdas valmistaa mekaanisia lukkorunkoja sisä- ja ulko-oviin. (Abloy Oy 2017c.) Abloy Oy työllistää noin 850 henkilöä, joista Suomessa on 700 ja ulkomailla 150 omissa myyntiyksiköissään. Kansainvälinen myyntiverkosto palvelee asiakkaita yli 90 maassa ja kotimaassa asiakkaita palvelee ABLOY-valtuutettuiden lukkoliikkeiden myynti- ja huoltoverkosto. (Abloy Oy 2017d.)

Abloy Oy on sitoutunut yhdessä emoyhtiönsä Assa Abloyn kanssa kestävään kehitykseen kaikessa toiminnassaan. Ympäristöpolitiikka on tuotannon ja myynnin kannalta tärkeää. Ympäristömyönteisiin toiminnan painopistealueisiin kuuluu energiatehokkuus, jätteen määrän sekä sen vaarallisuuden vähentäminen, vedenkäytön tehostaminen ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Abloy Oy sitoutuu ympäristöpolitiikassaan noudattamaan lakisäateisiä ja muita viranomaisten asettamia vaatimuksia. (Abloy Oy 2017e.)

Abloy Oy Joensuun tehdas on sitoutunut Joensuun ilmastointikumppaniverkoston ilmastotori-hankkeeseen. Ilmastohankkeen tavoitteena on tehostaa energiankäyttöä ja lisätä energiatehokasta tuotantoa, vähentäen samalla hiilidioksidipäästöjä. (Abloy Oy 2017f.) Lisäksi Abloy Oy on mukana kansallisessa energiatehokkuussopimuksessa, jonka tarkoituksena on edistää tehokkaampaa energiankäyttöä. (Energiatehokkuussopimukset 2017a; Energiatehokkuussopimukset 2017b.)

### 3 OVENSULJINTEHDAS

Ovensuljintehdas on Joensuuhun vuonna 1997 rakennettu ja myöhemmin vuonna 2001 laajennettu tehdasrakennus. Se on yksi Euroopan suurimmista ovensulkimia valmistavista tehtaista, jonka tuotanto painottuu ovensulkimien ja oviautomatiikan valmistukseen. Ovensuljintehtaalla myös maalataan ovensulkimien runkoja ja niiden muovikoteloita. (Aluehallintovirasto 2010, 9-10; Juvonen 2007, 182-184.) Ovensuljintehtaan kokonaispinta-ala on yhteensä noin 6700 m<sup>2</sup> ja sen pohjakuva on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Ovensuljintehdas (Abloy Oy 2017.)

Ovensuljintehtaan sähkönsyöttö tapahtuu muuntosuhteeltaan 20 kV/400 V:n ja näennäisteholtaan 1600 kVA:n öljyeristeisellä muuntajalla, jonka sähkönsyöttö tulee päätehtaan 20 kV:n jakokytkinlaitteistolta. Ovensuljintehtaan suurjännitepuolella oikosulkusuojaus on toteutettu 63 A:n sulakkeilla ja 20 kV:n katkaisijan suojarieistyksen avulla. 400 V:n pienjännitepuolella ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus on säädetty pääkatkaisijalle, jonka nimellisvirta on 3200 A.

## 4 ENERGIA TEHO KUUDEN MERKITYS TEOLLISUUDESSA

### 4.1 Teollisuuden energiatehokkuus

Teollisuudessa energiatehokkuus on keskeinen tekijä tuotannon ja sen ylläpidon kannalta. Energian käytön tehostamisella vähennetään tuotannosta aiheutuvia kustannuksia, parannetaan huoltovarmuutta ja lisätään yrityksen kilpailukykyä. Energiatehokkuutta parantamalla voidaan vaikuttaa energiansäästötoimenpiteisiin, joilla on taloudellisten etujen lisäksi merkitystä myös ympäristöystävällisyyteen. (Heikkilä, Huumo, Siitonen, Seitsalo ja Hyytiä 2008, 20; Linna ja Nuutinen 2012, 6–7.)

Energiatehokkuudella tarkoitetaan energian tehokasta hyödyntämistä ja kasvihuonepäästöjen vähentämistä kustannustehokkailla menetelmillä (Energiavirasto 2017). Sitä ei kuitenkaan voida määritellä yksiselitteisesti, koska energiatehokkuuden vertailu eri teollisuudenalojen välillä on hankalaa. Sen tehostaminen voidaan määritellä seuraavilla tavoilla:

- Saman tuotantomäärän tai tuotannon saavuttamista pienemmällä energiankulutuksella.
- Suuremman tuotantomäärän tai tuotannon arvon saavuttamista samalla energiankulutuksella.
- Tuotantomäärän tai tuotannon arvon kasvun saavuttamista suhteellisesti pienemmällä energiankulutuksen kasvulla. (Heikkilä ym. 2008, 20.)

Energiatehostamistoimenpiteillä yritykset voivat parantaa energian käyttöä ja vähentää tarpeettomia kustannuksia, jotka aiheutuvat sähkö- ja lämpöenergian kulutuksesta. Lisäksi tehostamistoimenpiteillä voidaan saavuttaa taloudellisia etuja tuotantomäärissä ja niiden laadussa sekä kunnossapitokustannuksissa. Merkittävänä tekijänä energiatehokkuuspäätösten toteuttamiselle on niiden kannattavuus, koska niiden rahallisten investointien riskit ovat usein alhaisia verrattuna niiden tarjoamiin etuihin. (Linna ja Nuutinen 2012, 6–7.) Yritysten energiantehostamistoimenpiteisiin on olemassa standardi SFS-EN-ISO 50001, joka ohjeistaa energiantehokkuuden, energiankäytön ja energiankulutuksen kehittämässä (Energianhallintajärjestelmät 2012, 8).

Energiankäytön tehostaminen ja siitä aiheutuvat energiansäästötoimenpiteet vaikuttavat myös ympäristötekijöihin hiilidioksidipäästöjen vähentymisenä. Yrityksiä kannustetaan vapaaehtoisin energiatehokkuus- ja energiasäästösopimuksiin, joilla on myös vaikutusta heidän liiketoimintaansa asiakkaiden ympäristötietoisuuden takia. Energiatehokkuuden kehittäminen täytyisikin sisällyttää osaksi yritysten laatu-, ympäristö- ja hallintajärjestelmiä, joissa energiankulutuksesta aiheutuvia kustannuksia ja päästöjä tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena. (Linna ja Nuutinen 2012, 6–7.)

### 4.2 Sähköenergian käytön tehostaminen teollisuudessa

Teollisuudessa kulutettuun sähköenergian kokonaismäärään vaikuttaa suuresti teollisuusrakennuksen kiinteistösähkön osuus. Kiinteistörakennuksen sähköenergian kulutuskohteet ovat tiedostettava erikseen, jotta energiatehokkuustoimenpiteet voidaan kohdistaa tärkeimpiin tekijöihin. Kiinteistösähkön

tehostamisen kannalta merkittäviä kohteita ovat valaistus, LVI-laitteet (lämmitys-, vesijohto- ja ilmanvaihto-laitteet) ja muut sähkölaitteet. Kyseisten kohteiden energiakulutukseen voidaan vaikuttaa valaistusratkaisuilla, ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmillä, vesikalusteiden virtausta säätämällä ja yksittäisten laitteiden energiankulutusta seuraamalla. (Mattila ja Motiva Oy 2012, 4–7.)

Teollisuuden sähköenergian laatuun tulee myös kiinnittää huomiota, koska huono sähkön laatu aiheuttaa yritykselle ylimääräisiä kustannuksia. Energiatohokkuuden parantamisen kannalta täytyykin tarkastella eri laaturatkaisumenetelmiä sähkön laadun parantamiseksi. (European Association of Electrical Contractors 2006, 38.)

#### 4.3 SFS-EN ISO 50001

Kansainvälisen energianhallintajärjestelmästandardin SFS-EN ISO 50001 tarkoituksena on ohjeistaa organisaatioita energiatohokkuuden parantamisessa, energiankäytössä ja -kulutuksessa. Standardin tarkoituksena on energiankäytön hallinnan ja tehostamisen avulla vähentää energian käytöstä aiheutuvia kustannuksia ja ympäristövaikutuksia. ISO 50001-standardia voidaan soveltaa kaikkiin organisaatioihin ja sitä voidaan käyttää ohjeistuksena teollisuuden energiatohokkuuden parantamisessa. Standardin määrittelemien järjestelmien ja prosessien onnistunut toteuttaminen vaatii koko organisaation henkilöstön osallistumista ja sitoutumista hankkeeseen. (Energianhallintajärjestelmät 2012, 8.)

Energianhallintajärjestelmästandardi antaa organisaatiolle mahdollisuudet asettaa omat tavoitteensa energiapolitiikan suhteen, ottaen huomioon voimassa olevan lainsäädännön koskien energiankulutukseen liittyviä toimenpiteitä. Standardin noudattaminen osoittaa, että organisaatio toimii kansainvälisen standardin vaatimusten mukaisesti ja huomioi energiatehostamisen osaksi toimintaansa. (Energianhallintajärjestelmät 2012, 8.)

Standardin mukainen energiankäytön tehostaminen perustuu jatkuvan parantamisen malliin, joka muodostuu suunnittelusta, toteutuksesta, arvioinnista ja toiminnasta (Plan-Do-Check-Act eli PDCA-malli). Sen tarkoituksena on painottaa energiatohokkuuden jatkuvaa kehittämistä ja luoda energianhallinnasta organisaation jokapäiväistä toimintaa. (Energianhallintajärjestelmät 2012, 8, 12.) Jatkuvan parantamisen mallin toiminta on havainnollistettu kuviossa 1.



KUVIO 1. Jatkuvan parantamisen malli (Motiva Oy ja Wis Consulting Oy 2010, 6.)

Standardin ohjeistuksen avulla voidaan organisaation energiahallinnassa soveltaa jatkuvan parantamisen mallia. Aluksi tehdään energiakatselmus organisaation energiapolitiikan perusteella ja suunnitellaan toimenpiteet energiatehokkuuden parantamiseksi. Toteutusvaiheessa toteutetaan energianhallinnan mukainen toimenpideohjelma, jonka jälkeen sitä seurataan ja arvioidaan organisaation energiapolitiikan mukaisesti. Saatujen tulosten perusteella ryhdytään toimenpiteisiin, joilla energiatehokkuutta voidaan parantaa jatkuvasti. (Energianhallintajärjestelmät 2012, 8.)

## 5 VALAISTUS

### 5.1 Valaistustekniikan käsitteitä

Valaistustekniikassa on omat suureensa, jotka on esitetty symboleineen ja yksikköineen taulukossa 1. Lisäksi valaistustekniikassa tärkeitä tekijöitä ovat valon häikäisy, värilämpötila ja värintoisto. (Halonen ja Lehtovaara 1992, 34)

TAULUKKO 1. Perussuureet ja yksiköt (Halonen ja Lehtovaara 1992, 34; Halonen, Raunio ja Tetri 2011, 4.)

Suure	Symboli	Yksikkö
Valovoima	I	Kandela [cd]
Valovirta	$\Phi$	Lumen [lm]
Valaistusvoimakkuus	E	Luksi [lx]
Luminanssi	L	[cd/m <sup>2</sup> ]
Valotehokkuus	$\eta$	[lm/w]

Valovoima on valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevää valon voimakkuutta eli intensiteettiä. Sen avulla voidaan johtaa muut valaistussuureet ja yksiköt (Halonen ja Lehtovaara 1992, 34). Valovirta on valonlähteen tuottaman säteilytehon näkyvän valon kokonaismäärä. Valaistusvoimakkuus tarkoittaa tietylle pinta-alalle kohtisuoraan suuntautuvan valovirran määrää pinta-alayksikköä kohti, eli valovirran tiheyttä. Luminanssi on kohteen pinnasta heijastunut valo, joka määräytyy pinnan heijastusominaisuuksien, valaistusvoimakkuuden ja valon suunnan perusteella. (Tiensuu 2010, 7.) Valotehokkuus on valovirran suhde sähkötehoon (Halonen ym. 2011, 4).

Häikäisyä aiheuttaa näkökentässä kirkkaat alueet ja se voidaan jaotella kiusahäikäisyyteen ja estohäikäisyyteen. Kiusahäikäisyydellä tarkoitetaan epämiellyttävää tunnetta näkökentässä, mutta se ei välttämättä heikennä näkemistä. Vastaavasti estohäikäisy heikentää näkemistä, mutta ei välttämättä aiheuta epämiellyttävää tunnetta näkökentässä. (Tiensuu 2010, 6.)

Värilämpötilalla tarkoitetaan valon säteilemää värivaikutelmaa, jonka yksikkö on kelvin (K). Valaistuksen värilämpötilan valintaan vaikuttavat tilan valaistusvoimakkuustaso, ympäröivät värit ja tilan käyttötarkoitus. (Tiensuu 2010, 7.)

TAULUKKO 2. Värivaikutelmaa vastaava värilämpötila (Tiensuu 2010, 7.)

Värivaikutelma	Värilämpötila
Lämmin	< 3300 K
Neutraali	3300-5300 K
Kylmä	> 5300 K

Valaistuksen värintoistolle on olemassa värintoistoindeksi ( $R_a$ ). Se kuvaa valonlähteen värintoistominaisuuksia, eli kykyä valaista ympäristöä ja siinä olevien kohteiden väri mahdollisimman luonnolli-

sena. Indeksien arvo on sitä suurempi, mitä parempi valolähteen värintoisto-ominaisuus on. Valaistusstandardeissa on määritelty vähimmäisarvot värintoistolle eri tiloissa ja käyttötarkoituksissa. (Tiensuu 2010, 7.)

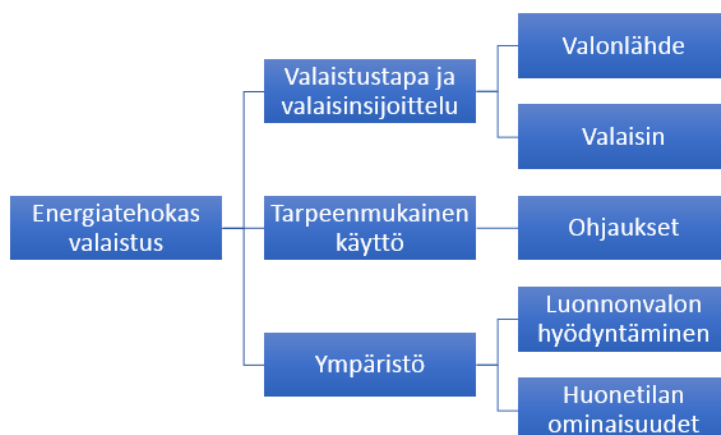
## 5.2 Energiatehokas valaistus

Valaistuksen osuus on merkittävä teollisuuden kiinteistösähkön kulutuksesta. Energiakustannusten kasvaessa valonlähteiden energiatehokkuuteen kannattaa kiinnittää huomiota, koska teollisuuskiinteistöissä valaisimet voivat olla energiatehokkuudeltaan huonoja ja ohjattavuudeltaan puutteellisia. Energiatehokkaan valaistusjärjestelmän ylläpito vaatiikin tarvittaessa vanhan valaistuksen uusimista ja säännöllistä valaisinhuoltoa. (Mattila ja Motiva Oy 2012, 16.)

Valaistuksen uusiminen on yksi kannattavimmista energiansäästömenetelmistä (Motiva Oy ja STEK 2009, 3). Energian säästäminen valaistuksessa ei kuitenkaan saa vaikuttaa valaistuksen määrään tai sen laatuun (Motiva Oy ja STEK 2009, 6; Suomen Valoteknillinen Seura ry 2008, 4). Uudenaikaisilla valaistustekniikoilla ja valaistuslähteillä voidaan valaistuksen määrää sekä laatua parantaa sekä säästää samalla energiakustannuksissa (Motiva Oy ja STEK 2009, 6).

Valaistuksen uudistamista suunniteltaessa on tärkeää vertailla eri valaistusratkaisuja ja niiden elinkaarikustannuksia takaisinmaksuaikoihin (Motiva Oy ja STEK 2009, 4). Valaistusjärjestelmän elinkaarikustannukset muodostuvat hankintahinnasta, elinkaaren energiakustannuksista, valaisimien varaosista ja huoltotyön kustannuksista. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa valaistuksen vuotuinen käyttöaika, joka vaihtelee eri teollisuuskiinteistöjen välillä. (Mattila ja Motiva Oy 2012, 17.)

Energiatehokas valaistus muodostuu valaistusratkaisuista, valonlähteistä, valaisimien energialuokista, valaistuksen toteutus- ja käyttötavoista (Suomen Valoteknillinen Seura ry 2008, 24). Valaistusta toteutettaessa kannattaa huomioida valaisimien hyötysuhde, liitäntälaitetekniikka, valaistuksen sijoittelu alueittain, valaistuksen ohjaustekniikka ja päivänvalon hyödyntäminen. Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä on eritelty kuviossa 2. (Motiva Oy 2012, 14; Motiva Oy ja STEK 2009, 4.) Myös henkilöiden opastamisella valaistuksen käyttöön ja heidän asenteisiin vaikuttamisella on oleellinen osuus energiatehokkaan valaistuksen toteuttamisessa (Heikkilä ym. 2008, 73).



KUVIO 2. Energiatehokkaan valaistuksen tekijät (Suomen Valoteknillinen Seura ry 2008, 24.)

### 5.3 Valaistusstandardit

Valaistusstandardit SFS-EN 12464-1 ja SFS-EN 15193 ohjeistavat energiatehokkaan valaistuksen toteuttamisessa ja luovat perustan valaistuksen minimivaatimuksille (Motiva Oy ja STEK 2009, 6; Suomen Valoteknillinen Seura ry 2008, 4). SFS-EN 12464-1 käsittelee sisätilojen työkohteiden valaistusta ja SFS-EN 15193 rakennusten valaistuksen energiatehokkuutta.

#### 5.3.1 SFS-EN 12464-1

Eurooppalaisen standardin SFS-EN 12464-1 tarkoituksena on ohjeistaa valaistusratkaisujen määrällisissä ja laadullisissa vaatimuksissa useimmille sisätyöpaikoille (Valo ja valaistus 2011, 10). Se määrittelee tilakohtaiset ohjearvot valaistusvoimakkuudelle, valaistusvoimakkuuden tasaisuudelle, värintoistolle, kiusahäikäisylle ja valaistuksen erityisvaatimuksille (Valo ja valaistus 2011, 16, 22, 30, 24, 34). Standardissa on erikseen määritelty näköympäristöön vaikuttavat ohjearvot eri teollisuuden aloille (Valo ja valaistus 2011, 36).

Standardin mukaan valaistus on suunniteltava energiatehokkaasti, mutta valoteknisiä suosituksia ei saa rajoittaa energiansäästösyiden vuoksi (Valo ja valaistus 2011, 32). Energiansäästötapoina suositellaan valaistuksen ohjausta, päivänvalon hyödyntämistä ja valaistushuoltoa (Valo ja valaistus 2011, 34). Standardi ohjeistaa myös valaistuskäytännöissä, mutta se ei määrittele tai rajoita valaistuksen toteutustapoja (Valo ja valaistus 2011, 10).

SFS-EN 12464-1 mukaan valaistusvaatimukset määritellään näkömukavuuden, näkötehokkuuden ja turvallisuuden perusteella. Näkömukavuudella tarkoitetaan valaistuksesta aiheutuvaa hyvinvointia, joka vaikuttaa työn tuottavuuteen ja laatuun. Näkötehokkuus vaikuttaa siihen, kuinka hyvin työntekijät näkevät tehdä työnsä. Turvallinen valaistus vähentää työvahinkojen ja työtapaturmien sattumista. (Valo ja valaistus 2011, 14.)

#### 5.3.2 SFS-EN 15193

Eurooppalaisen standardin SFS-EN 15193 tarkoituksena on ohjeistaa rakennusten valaistuksen energiatehokkuuden mittaamisessa ja laskemisessa. Standardissa on määritelty laskentamenetelmä energiatehokkuusindeksin (Lighting Energy Numerical Indicator) eli LENI-luvun laskemiseksi, joka kertoo rakennuksen sisävalaistuksen kokonaisenergiankulutuksen suhteessa sen sisäpinta-alaan. Mitä alhaisempi LENI-luku on, sitä parempi on laskettavan kohteen valaistuksen energiatehokkuus. (Rakennusten energiatehokkuus 2008, 8.)

LENI-lukua voidaan hyödyntää energiatehokkuutta vertaillessa vastaavanlaisiin ja samaan toimintoihin tarkoitetuissa rakennuksissa ja niiden tiloissa. Laskenta voidaan tehdä koko rakennukselle tai vain osalle sen alueista. (Rakennusten energiatehokkuus 2008, 10.) Standardissa SFS-EN 15193 on määritelty suositellut LENI-arvot teollisuudelle (Rakennusten energiatehokkuus 2008, 108).



Rakennuksen LENI-luku voidaan laskea pikalaskentamenetelmällä tai tarkalla laskentamenetelmällä. Pikalaskentamenetelmällä saadaan energiankulutukselle epätarkemmat ja suuremmat LENI-arvot kuin tarkkaa laskentamenetelmää käytettäessä. Pikalaskentamenetelmällä saadaan laskettua arvio rakennuksen vuosittaisesta valaistukseen käytetystä energiasta kaavalla 1. (Rakennusten energiatehokkuus 2008, 18, 20, 34.)

$$LENI = \frac{W_L}{A} + W_p \left( \frac{kWh}{m^2, a} \right) \quad (1)$$

- $W_L$  on valaistuksen toimintaan ja käyttöön vaadittava sähköenergia vuodessa (kWh).
- $W_p$  on turvavalaisituksen akkujen varaamiseen ja valaistuslaitteiden valmiustilojen lepokulutukseen vaadittava sähköenergia (kWh). Pikalaskennassa käytetään arvoa  $W_p = 6 \text{ kWh/m}^2, a$
- $A$  on valaistusalueen sisäpinta-ala ( $m^2$ ).

Tarkalla laskentamenetelmällä täytyy huomioida tilakohtaiset laskenta-arvot valaistuksen energiankulutusta laskettaessa, jolloin kulutukselle saadaan tarkemmat arviot vuosi-, kuukausi- tai tuntitasolla. Tarkka laskentamenetelmä vaatii, että tietoa on saatavilla henkilöiden läsnäoloajoista ja päivänvalon saatavuudesta. (Rakennusten energiatehokkuus 2008, 8, 20, 22.)

#### 5.4 Loisteputkivalaistuksen korvaaminen led-putkivalaistuksella

Teollisuuden tuotanto- ja varastotiloissa on tavanomaisesti käytetty paljon loisteputkivalaistusta, mutta LED-valaisimien suosio on noussut lähiaikoina lyhentyneiden takaisinmaksuaikojen ja energiansäästösyiden takia (Koskelainen 2013). Loppuun palaneiden ja ikääntyneiden loisteputkien valaistustehokkuus on huono ja ne kuluttavat sähköenergiaa yhtä paljon kuin vastaavat uudet putket (Mattila ja Motiva Oy 2012, 16.). Rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa vaihtamalla valaisimien loistevaloputket led-valoputkiin, mutta vaihdon kannattavuuslaskenta on tehtävä ennen vaihdon toteuttamista (Lampputieto 2017).

Loistevaloputkia korvattaessa led-valoputkilla on varmistuttava, että vaihdettavat led-valoputket sopivat nykyisiin valaisimiin (Lampputieto 2017). Lisäksi on huomioitava vaihdosta mahdollisesti aiheutuvat muutostyöt, koska loisteputken korvaaminen led-putkella vaatii yleensä ainakin sytyttimen vaihdon. Asennettavien led-valoputkien on myös täytettävä annetut turvallisuusmääräykset sekä niiden asennus- ja muutostyöt on tehtävä määräysten mukaisesti. (Tukes 2014, 1.) Loisteputkivalaistuksen vaihto led-putkivalaistukseen vaikuttaa myös valon säteilykulmaan, koska loisteputki tuottaa valoa ympärisäteilevästi ja led-putki vain yhteen suuntaan (Lampputieto 2017).

Valaistusta uudistettaessa on myös huomioitava uusimisesta aiheutuvat elinkaarikustannukset ja takaisinmaksuajat. Led-putkien hankintahinta on korkeampi kuin loisteputkilla, mutta yleensä led-putkivalaisimien vuotuiset kokonaiskustannukset tulevat halvemmaksi. Led-putkivalaistuksen investointikustannukset kannattaa aluksi arvioida ja verrata niitä vuosittaisiin loisteputkivalaistuksesta aiheutuviin kustannuksiin. (Glamox Luxo Lighting 2013, 13.)

#### 5.4.1 Loisteputkivalaistus

Loisteputkilamput ovat pienipaineisia elohopeapurkauslamppuja ja ne voidaan jakaa rakenteeltaan kaksi- ja yksikantaloistelamppuihin (Halonen ja Lehtovaara 1992, 204). Yleisimmät tällä hetkellä käytössä olevat kaksikantaloistelamput ovat T8- ja T5-mallia. Yksikantaloistelamppuina käytetään pienisloistelamppuja ja kierrekantaisia energiansäästölamppuja. (ST 58.08 2009, 5, 7.)

Loisteputkilamput tuottavat paljon valoa ja erilaisia valon väriominaisuuksia on tarjolla monipuolisesti. Loisteputkien hankintahinta on alhainen ja lamppujen polttoaika on yleensä noin 15 000 tuntia. Elin-kaaren pituuteen vaikuttaa niiden sytytyksen ja sammutuksen tiheys. Loistelamppu vaatii lämpenemisajan, joten se ei heti sytyttyään tuota täyttä valon määrää. Valovirta myös alenee käyttöiän kasvaessa, joten valon määrään ja laatuun täytyy kiinnittää huomiota väliajoin. (STEK 2017.)

Loisteputkilamppujen toiminta perustuu sähköpurkaukseen. Loisteputken molemmissa päissä sijaitsevien elektrodien välinen sähköpurkaus virittää putkessa olevan elohopeahöyryn, joka toimii täytöskasuna. (Ahponen ja Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 34.) Elohopeahöyryn lisäksi lamppu sisältää jalokaasutäytöstä, kuten argon-, krypton tai neon-kaasua, joiden tarkoituksena on helpottaa elohopeahöyryn syttymistä huoneenlämpötilassa (Halonen ja Lehtovaara 1992, 205). Elohopeahöyryn sytyttyä virittyneet elektronit palaavat alemmille energiatasoille aiheuttaen tasojen energiaeroihin aallonpituudeltaan kääntäen verrannollista ultraviolettisäteilyä ja näkyvää valoa (Ahponen ja Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 34).

Loisteputken lasikuvun sisäpuoli on päällystetty loisteaineella ja kuvun molemmissa päissä on suojarankaan sisällä elektroneja emittoivalla aineella päällystetty volframilankaelektrodi eli katodi (Halonen ja Lehtovaara 1992, 204). Purkaustilanteessa vaihtovirralla toimivien elektrodien välinen jännite kiihdyttää elektronien nopeutta ionisoiden atomeja ylläpitämään sähköpurkausta ja aiheuttamaan säteilyä (Ahponen ja Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 34). Katodien ympärillä sijaitsee katodisuoja, joka suojelee loisteputken päitä ennenaikaiselta tummumiselta ja vähentää näkyvän valon välkyntää (Ahponen ja Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 35; Halonen ja Lehtovaara 1992, 204-205).

Loistelamppu tarvitsee toimiakseen virranrajoittimen, jona voidaan käyttää magneettista kuristinta ja sytytintä tai elektronista liitäntälaitetta (Ahponen ja Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 37; ST 58.08 2009, 5). Ilman virranrajoitinta loisteputkessa kulkeva virta kasvaisi jatkuvasti sen ollessa kytkettynä verkkojännitteeseen, jolloin ylivirta aiheuttaisi loisteputken johdikkeiden sulamisen. (Ahponen ja Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 37).

Loistelamppu vaatii syttyäkseen katodin esihehkutuksen sytyttimellä tai hehkutusmuuntajalla. Sytyttimenä toimii rele, joka liitetään katodien kautta kulkevaan sytytyspiiriin. Sytyttimenä voidaan käyttää hohto-, pikasytytintä tai elektronista sytytintä. (Ahponen ja Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 38; Halonen ja Lehtovaara 1992, 208)

Loistelampun syttyminen kestää pari sekuntia, jolloin katodien välille muodostuu jännite. Mikäli lamppu ei syty ensimmäisellä yrityksellä, yrittää sytytin muodostaa jännitteen uudestaan. (Ahponen ja Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 39.) Loistelampun lämpeneminen ja elohopean höyrystyminen lopulliseen paineeseen kestää useamman minuutin, jonka aikana lampun valovirta kasvaa ja valon värisävy muuttuu. Lämmentyään loistelamppu syttyy heti uudestaan, koska pieni elohopeahöyryn paine ei nosta syttymiseen tarvittavaa jännitettä. Alhaisissa lämpötiloissa loistelamppujen syttyminen kuitenkin vaikeutuu höyrystyneiden elohopea-atomien vähäisyyden takia, jolloin apuna käytetään sytytysapuliuskoja. (Halonen ja Lehtovaara 1992, 208.)

Loisteputken sisäpinnan loisteainekerros on valittu siten, että se vastaanottaa ultraviolettisäteilyn ja muuntaa säteilyenergian näkyvän valon aallonpituudelle. Loistelampun tuottaman valon aallonpituus ja värisävy riippuvat käytetyistä loisteaineista. Erilaisia loisteaineita on runsaasti tarjolla, joten valaistuksen väriominaisuudet voidaan valita käyttötarkoituksen mukaisesti. (Ahponen ja Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 44.) Yleiseen valaistukseen tarkoitettujen valkoisten loistelamppujen väriominaisuudet riippuvat siitä, onko valaistuksella pyritty pääasiassa valotehokkuuteen, värintoistoon vai värilämpötilaan (Halonen ja Lehtovaara 1992, 212).

#### 5.4.2 Led-putkivalaistus

Led-valaistuksen toiminta perustuu valoa tuottavaan puolijohdekomponenttiin LED (Light Emitting Diode) (Ensto 2009). Led-loisteputket ovat energiatehokkaita, niillä on alhaiset käyttökustannukset ja niiden polttoaika on keskimäärin yli 30 000 tuntia. Elinkaaren pituuteen vaikuttaa oleellisesti ympäristön lämpötila. Led-valaistus ei sovellu kuumaan käyttöympäristöön ja yli 40 °C lämpötiloissa käyttöikä alkaa laskea merkittävästi. Värilämpötilavalikoima led-valaistukselle on laaja ja sitä voidaan soveltaa kohdevalaistukseen. (STEK 2017.)

Led-diodin toiminta perustuu elektroluminesenssiin. Elektroluminesenssi-ilmiö tarkoittaa, että puolijohdekomponentti säteilee näkyvää valoa, kun siihen johdetaan sähkövirta. Ledissä on puolijohteiden tavoin p- ja n-johdealue, joiden välistä aluetta kutsutaan pn-liitokseksi eli rajapinnaksi. P-johdealueella on puutetta elektroneista ja n-johdealueella on ylimääräisiä elektroneja. Led tuottaa valoa, kun puolijohteeseen kytketään tasavirta ja elektronien epätasapaino rajapinnalla alkaa tasaantua. (Fagerhult 2012-2013, 504.)

Led-diodi asennetaan koteloon, jotta voidaan estää sen vaurioituminen ja mahdollistaa sen kytkentä sähköisesti. Kotelo on suunniteltu siten, että sen säteilykulma mahdollistaa paremman valon ohjauksen verrattuna ympärisäteileviin valonlähteisiin. Diodi asennetaan piirilevyyn, joka mahdollistaa sen toiminnan ja johtaa samalla lämpöä pois diodista. Ledillä ei ole omaa vastusta, joten virtapiirissä täytyy olla virranrajoitus. Led johtaa virtaa vain toiseen suuntaan, siksi se tarvitsee virran ohjauksen. (Hid-a-lite 2017).

Led vaatii toimiakseen liitäntälaitteen, jona voidaan käyttää tasajännitemuuntajaa tai hakkuriteholähdettä. Tasajännitemuuntajalla ledin tuottamaa valoa voidaan himmentää säätämällä syöttövirtaa, jolloin myös säteilevän valon värisävy muuttuu. Hakkuriteholähteellä lediä voidaan himmentää pulssinleveysmodulaatiolla, jossa syöttövirran suuruus on vakio. Syöttövirran ollessa vakio led kytkeytyy päälle ja pois päältä, mutta taajuus on niin suuri, ettei ihmisen näkökenttä havaitse välkyntää. (Ensto 2009.)

Ledin tuottaman valon aallonpituuden värisävy riippuu valmistusmateriaalista ja loisteaineina käytetyistä fosforiaineista. Yksittäisen ledin lähettämän valon värisävyyden voidaan vaikuttaa siten, että sen pinta päällystetään eri värisillä fosforikerroksilla. Valon värisävyyden voidaan vaikuttaa myös yhdistämällä samaan led-yksikköön useita erivärisiä ledejä. (Ensto 2009.)

## 6 SÄHKÖN LAATU

### 6.1 Sähkön laadun vaikutus energiatehokkuuteen

Sähkön laadussa esiintyvät häiriötekijät huonontavat energiatehokkuutta ja lisäävät tarpeettomia energiakustannuksia. Teollisuuslaitoksissa ja toimistoissa voi esiintyä huonosta sähkön laadusta aiheutuvia häiriöitä, jotka vaikuttavat tuotantoprosessien toimivuuteen ja pahimmillaan aiheuttavat tuotannon keskeytyksiä. (European Association of Electrical Contractors 2006, 38.) Häiriöt vaikuttavat myös tuotannon laatuun, joka voi näkyä laatuvirheinä ja viallisina tuotteina. Lisäksi huono sähkön laatu aiheuttaa lisäkustannuksia laitevaurioiden ja niiden toimintahäiriöiden takia sekä nousseina loistehomaksuina. (ABB 2000, 1.)

Sähkön laadun selvittäminen mahdollistaa sähkölaitteiden kustannustehokkaan käytön ja energiankäytön tehostamisen. Mittauksilla saadaan selvitettyä mahdolliset häiriötekijät sähköverkossa ja näin ennaltaehkäistään niistä aiheutuvia ongelmia. (ABB Oy 2011, 2.) Standardissa SFS-EN 50160 määrittellään tarkemmin sähkön laatua (European Association of Electrical Contractors 2006, 38).

Sähkön laadun määrittely perustuu sähkön jatkuvuuden saatavuuteen, jännite- ja taajuusrajoissa pysymiseen sekä siniaallon mukaisuuteen. Yleisimpiä sähkön laadun häiriöitä ovat sähkönsyötön katkot, yli- tai alijännitteet, jännitekuopat ja -piikit sekä harmoniset yliaallot. (European Association of Electrical Contractors 2006, 39.) Laadun heikkenemiseen voi olla syynä sähköverkon puutteellinen maadoitus, loistehon kompensoinnin puutos tai paikallinen sähkölaitte (European Association of Electrical Contractors 2006, 39; ABB Oy 2011, 2). Sähkön laatua voidaan parantaa loistehoa kompensoimalla, laitekohtaisilla valinnoilla ja suojalaitteiden sijoituspaikoilla. (European Association of Electrical Contractors 2006, 39).

### 6.2 Kolmivaiheiset tehosuureet

Kolmivaiheisen verkon teho muodostuu kolmesta eri tehosuureesta ( $P$ ,  $Q$  ja  $S$ ) sekä tehokertoimesta ( $\cos \varphi$ ). Niiden välisillä yhteyksillä on vaikutusta muodostuvaan loistehon määrään ja sen kompensoinnin tarpeeseen. (Silvonen 2009, 231, 233.) Vastaavasti loistehon kompensointilaitteet voivat resonoida eli värähdellä sähköverkossa esiintyvien harmonisten yliaaltojen kanssa, mikä vaikuttaa sähkön laatuun (Männistö, Hietalahti, Seesvuori ja Wilén 2006, 65).

Pätöteho eli hyötyteho on sähköstä hyödyksi saatavaa tehoa ja häviötehoa. Pätötehoa ovat resistanssissa lämmöksi muuttuva häviöteho, hehkulampun teho ja moottorin akselin pyörittämiseen kuluva teho. Kun arkikielessä puhutaan tehosta, tarkoitetaan sillä yleensä pätötehoa. Pätötehon suure on  $P$  ja sen yksikkö on watti ( $W$ ). (Silvonen 2009, 232.)

Loisteho ei ole samanlaista hyötytehoa kuin pätöteho ja sen siirto sähköverkossa aiheuttaa häviöitä ja kustannuksia (Ruppa ja Lilja 2016, 53). Sillä on kuitenkin tärkeä merkitys joidenkin sähkölaitteiden, kuten oikosulkumoottoreiden ja muuntajien toiminnan kannalta (Korpinen 1998, 14). Loisteho voi olla

induktiivista tai kapasitiivista, mikä riippuu jännitteen ja virran välisestä vaihe-erosta  $\varphi$ . Kompensointilaitteilla pyritään tasapainottamaan induktiivista ja kapasitiivista loistehoa, koska sähköverkossa kulutetun loistehon osuus on oltava yhtä suuri kuin tuotetun loistehon. Loistehon suure on  $Q$  ja sen yksikkö on var (VAr). (Ahoranta 2015, 178; Ruppä ja Lilja 2016, 43, 53.)

Näennäisteho eli nimellisteho muodostuu pätötehosta ja loistehosta eli se on sähköverkon kokonaisteho. Näennäisteho ei ole todellinen sähköverkossa esiintyvä tehosuure vaan se on laskennallinen suure, jolla määritellään suurin mahdollinen kuormitusteho. Generaattoreiden ja muuntajien tehot ilmoitetaan nimellistehona. Näennäistehon suure on  $S$  ja sen yksikkö on voltiampeeri (VA). (Ruppä ja Lilja 2016, 53.)

Tehokerroin  $\cos \varphi$  (DPF) muodostuu sinimuotoisen vaihtojännitteen ja vaihtovirran välisestä vaihe-erosta. Tehokerroin on siis perustaajuisen pätötehon ja näennäistehon suhde, jonka arvo vaihtelee 0:n ja 1:n välillä. Tehokertoimen suuruus vaikuttaa sähköverkossa esiintyvään pätötehon ja loistehon määrään. Pätötehoa on sitä enemmän mitä suurempi on tehokerroin. Vastaavasti loistehoa on sähköverkossa enemmän, jos tehokerroin on lähellä nollaa. Tehosuureiden ja tehokertoimen välistä suhdetta voidaan havainnollistaa kolmivaihejärjestelmän yhtälöillä 2 ja 3. (Ahoranta 2015, 128, 178; Männistö ym. 2006, 16; Silvonen 2009, 232.)

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

- $\cos \varphi$  = tehokerroin
- $S$  = näennäisteho (VA)
- $P$  = pätöteho (W)
- $Q$  = loisteho (VAr)

### 6.3 SFS-EN 50160

Eurooppalainen sähkön laatu standardi SFS-EN 50160 määrittelee raja-arvot jakelujänniteominaisuuksille, joiden perusteella käyttäjän liittymiskohta pysyy standardin ohjeistusten mukaisesti yleisen eurooppalaisen jakeluverkon alueella. Standardissa täsmennetään jänniteominaisuudet verkon käyttäjän liittymiskohdassa, mikä koskee pien-, keski-, ja suurjännitteisiä sähköjakeluverkkoja normaaleissa käyttöolosuhteissa. (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 6.)

SFS-EN 50160 määrittelee vaatimukset jakelujännitteen verkkotaajuudelle, suuruudelle, aaltomuodolle ja kolmivaiheisen jännitteen symmetrisyydelle. Standardi vaatii osalle jänniteominaisuuksista viikonpituisen mittausjakson 10 minuutin välein ominaisuuksien keskiarvosta. Pienjänniteverkolla kyseisten arvojen tulee olla viikon ajalta vähintään 95 % rajoissa. (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön

jänniteominaisuudet 2010, 6, 22.) Standardin vaatimat rajat eri jänniteominaisuuksille on esitetty liitteessä 2.

### 6.3.1 Jännitetason vaihtelut ja äkilliset muutokset

Jännitetason vaihteluilla tarkoitetaan jännitteen nousemista tai alenemista jakelujärjestelmän tai sen osan kokonaiskuormituksen vaihtelun vuoksi (Männistö ym. 2006, 14). Standardin mukaisesti pienjänniteverkoissa jännitetason vaihtelut on mitattava viikon ajan, 10 minuutin tehollisarvojen keskiarvoista. (ST 52.50 2006, 2).

Sähköverkossa kytkennät ja kuormitusmuutokset aiheuttavat jakelujännitteeseen äkillisiä muutoksia. Nopeat jännitteen muutokset ovat jännitteen tehollisarvojen yksittäisiä nopeita muutoksia tasolta toiselle ja niitä voi tapahtua useasti päivässä. Ne aiheuttavat välkyntää pien- ja keskijänniteverkoissa. (Männistö ym. 2006, 14; ST 52.50 2006, 2.)

Nopeat jännitemuutokset voidaan määrittää välkynnän häiritsevyysindeksin avulla. Välkyntä on valonlähteen luminanssin tai valojakauman muutoksen aiheuttamaa näköaistimuksen epävakaisuutta. Standardin mukainen ohjeistus välkynnän mittaukselle on yksi viikko, 10 minuutin jaksoissa. (ST 52.50 2006, 2.)

### 6.3.2 Ylijännitteet

Käyttötaajuisella ylijännitteellä tarkoitetaan tietyssä paikassa kauan esiintyvää ylijännitettä (Männistö ym. 2006, 14). Käyttötaajuisia ylijännitteitä aiheuttaa yleensä kuormituksen äkillinen aleneminen, loisteon ylikompensointi, yksivaiheinen vika tai vaiheiden epätasainen kuormittaminen (ST 52.50 2006, 4).

Transienttiylijännite on lyhytaikainen värähtelevä tai värähtelemätön ylijännite. Sen nousu aika ja kesto ovat korkeintaan muutamia millisekunteja, jonka jälkeen transienttiylijännite vaimenee nopeasti. Transienttiylijännitteet aiheuttavat läpilyöntejä, hajottaen laitteiden elektronisia osia, komponentteja ja eristeitä. (ST 51.51.04 2006, 1.)

### 6.3.3 Jännitekuopat

Jännitekuopalla tarkoitetaan jakelujännitteen alenemista ja sen tasaantumista entiselleen äkillisesti. Sen kesto on yleensä korkeintaan noin muutaman sekunnin. Jännitekuopan suuruus voidaan määrittellä vertaamalla alentuneen jännitteen tehollisarvoa nimellisjännitteeseen. (Männistö ym. 2006, 14.) Jännitekuopat aiheutuvat yleensä jakeluverkon tai rakennuksen laitteiden kytkennöistä tai jakeluverkoissa tapahtuvien vikojen takia (ST 52.50 2006, 4).

### 6.3.4 Epäsymmetria

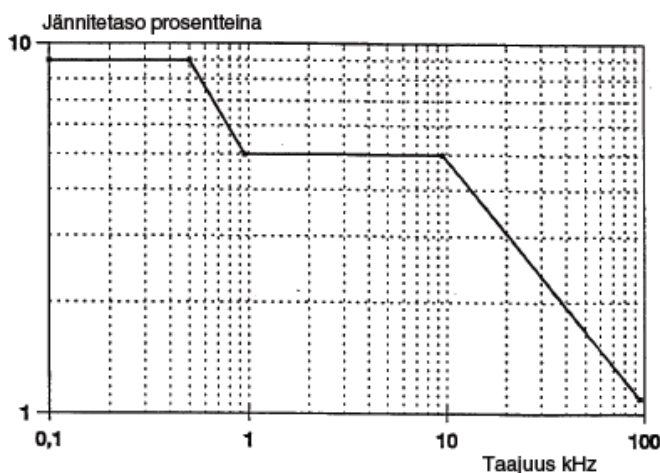
Jännitteen epäsymmetriaa esiintyy silloin, kun kolmivaihejärjestelmässä vaihejännitteiden tehollisarvot tai niiden väliset kulmat eivät ole saman suuruisia (Männistö ym. 2006, 14). Standardi määrittelee mittausajaksi yhden viikon, 10 minuutin jaksoissa. (ST 52.50 2006, 3).

### 6.3.5 Taajuus

Verkkotaajuudella tarkoitetaan jakelujännitteen perusaallon taajuutta, jonka Suomessa tulee olla 50 Hz sähkönjakeluun käytettävissä verkoissa (Männistö ym. 2006, 11). Standardi määrittelee pien- ja keskijänniteverkoissa jännitteen taajuuden mittausajaksi yhden viikon, 10 sekunnin keskiarvoina (ST 52.50 2006, 2).

### 6.3.6 Taajuus ja signaalijännitteet

Verkon signaalijännitteet ovat jakelujännitteeseen lisättyjä viestejä tiedon siirtämiseen yleisessä jakeluverkossa. (Männistö ym. 2006, 15). Yleistä sähkönjakelujärjestelmää ei saa käyttää viestinsiirtoon asiakkaiden välillä, joten asiakkaiden kannattaa asentaa suojaus viestinsiirtojärjestelmäänsä muista viestinsiirtojärjestelmistä aiheutuvia häiriöitä vastaan. Standardi määrittelee signaalijännitteiden mittauksiksi yhden vuorokauden, kolmen sekunnin keskiarvoina. Kuviossa 3 on esitetty yleisessä pien- ja keskijänniteverkossa käytettävien signaalien jännitetasot prosentteina nimellisjännitteestä. (ST 52.50 2006, 3.)



KUVIO 3. Signaalijännitteiden jännitetasot prosentteina nimellisjännitteestä (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 24.)

### 6.3.7 Keskeytykset

Sähkönjakelun keskeytykset ovat suunniteltuja keskeytyksiä tai häiriökeskeytyksiä. Suunnitellut käyttökeskeytykset ovat tiedostettavissa sähkönkäyttäjille ennen niiden toteutusta. Häiriökeskeytykset ovat yllättäviä eikä niitä voi aina ennustaa etukäteen. Häiriökeskeytykset voidaan jaotella lyhyihin keskeytyksiin ja pitkiin keskeytyksiin. Lyhyet keskeytykset ovat kestoltaan alle kolme minuuttia ja pitkä keskeytykset yli kolme minuuttia. (ST 52.50 2006, 4.)



### 6.3.8 Harmoniset ja epäharmonisen yliaaltojännitteet

Harmoninen yliaaltojännite on sinimuotoinen jännitekomponentti, jonka taajuus on jakelujännitteen perusaallon taajuus kerrottuna kokonaisluvulla. Harmonista yliaaltojännitettä voidaan arvioida sen suhteellisella suuruudella perustaajuiseen jänniteaaltoon tai yhdessä jakelujännitteen harmonisella kokonaissärön (THD) arvolla. Harmoniset yliaallot aiheuttavat häviöiden kasvua sähköverkossa ja sähkölaitteissa sekä alentavat eri laitteiden kuormitettavuutta. (Männistö ym. 2006, 13, 30.) Standardin mukaisesti harmonisten yliaaltojen mittaus täytyy tehdä viikon ajan, 10 minuutin jaksoissa (ST 52.50 2006, 2). Taulukossa 3 on esitetty standardin harmonisten ylijännitteiden sallitut ylärajat liittämiskohdassa eri järjestyslukuilla ja niiden osuudet prosentteina nimellisjännitteestä.

TAULUKKO 3. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot liittämiskohdassa järjestyslukuun 25 asti prosentteina nimellisjännitteestä (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähköön jänniteominaisuudet 2010, 34.)

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestysluku (h)	Suhteellinen jännite (Uh)	Järjestysluku (h)	Suhteellinen jännite (Uh)	Järjestysluku (h)	Suhteellinen jännite (Uh)
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				
Kokonaissärö THD ≤ 8%					

Epäharmoninen yliaaltojännite on myös sinimuotoinen jännitekomponentti, mutta sen taajuus on harmonisten yliaaltojen välissä. Sen jännitekomponentti ei ole perusaallon taajuus kerrottuna kokonaisluvulla. Epäharmonisia yliaaltoja voi esiintyä samanaikaisesti, jos niiden taajuudet ovat lähellä toisiaan. (Männistö ym. 2006, 13.) Standardi ei määrittele vaatimustasoa epäharmonisille yliaaltojen esiintyvyydelle (ST 52.50 2006, 3).

## 7 ENERGIANSEURANTAJÄRJESTELMÄ

### 7.1 Energiatehokkuuden mitta

Energiatehokkuuden ja sähköenergian kulutuksen arviointi vaatii kokonaisuukaista mittausta, seuranta, tiedonhallintaa ja raportointia. Ainoastaan tieto yrityksen sähköenergian kokonaiskulutuksesta ei riitä, koska sen perusteella ei voida todeta, missä kohteissa sähköenergian käyttöä voitaisiin tehostaa. Osaprosessien tai eri laiteryhmiön energiankulutus on tiedostettava, jotta voidaan olla tietoisia mahdollisista energiantehostamisen tarpeista. (Linna ja Nuutinen 2012, 12.) Energianmittausjärjestelmästä saatujen kulutustietojen avulla voidaan toteuttaa energiansäästötoimenpiteitä ja harkita mahdollisia investoinnin kohteita energiankäytön tehostamiseksi (Motiva Oy 2014, 6).

Tuotannon energiatehokkuutta ja energiankulutusta seurataan usein vain kuukausitasolla, käsinkirjoitetuilla pöytäkirjoilla. Energiankulutuksen vaihtelua on tällöin vaikea huomata ja äkilliset kulutuksen muutokset eivät erotu pitkällä aikavälillä lopullisesta raportoinnista. Energiankäytön tehostamisen kannalta olisi tärkeää, että mahdollisimman moni energiatehokkuuteen vaikuttava tekijä mitattaisiin erikseen. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, joten on tärkeää selvittää oleelliset mittauskohteet energiantehostamisen parantamiseksi. (Motiva Oy 2014, 2.)

Energianmittausjärjestelmää hankkiessa on aluksi selvitettävä mittauspisteet, joista halutaan saada tietoa energiankulutuksesta. Suunnitteluvaiheessa on huomioitava, millaisessa muodossa mittaus-tieto halutaan ja kuinka mittaus-tulokset esitetään. Lisäksi on huomioitava käyttäjäryhmät ja käyttökohteet. Tuotantotasolla vaaditaan tarkempaa mittaus-tietoa yksittäisistä mittauspisteistä usein reaaliajassa. Mittaus-tulosten on oltava havainnollistavia ja niiden on kuvattava mittauskohdetta riittävän tarkasti ja nopeasti. (Motiva Oy 2014, 2, 6.)

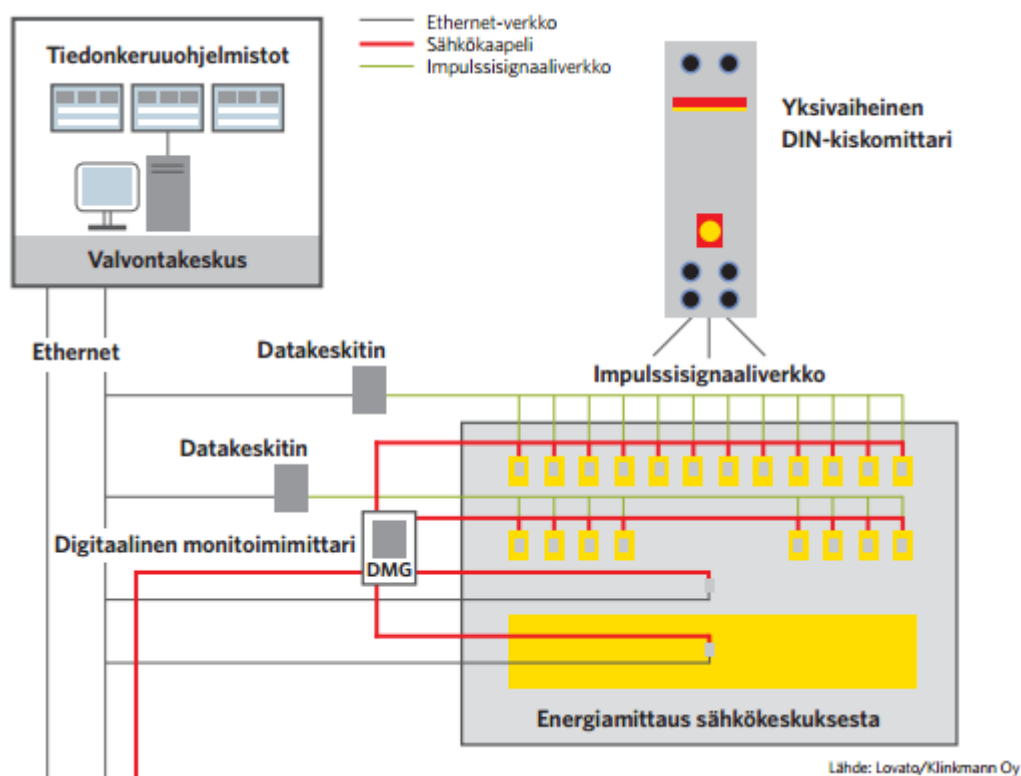
Energianmittausjärjestelmää toteutettaessa on selvitettävä ennen mittareiden hankintaa, millaiset mittausmenetelmät soveltuvat kyseisen mittauspisteen ja suureen mittaamiseen. Lisäksi on huomioitava mittauslaitteiden sijoittelupaikat ja mittauskohteiden asettamat reunaehdot. Mahdollista on myös kehittää yrityksen nykyistä energianseurantajärjestelmää, jolloin siihen voidaan sisällyttää toinen mittausjärjestelmä. Silloin on huomioitava olemassa olevan raportointijärjestelmän ja uuden tietokannan yhteensopivuus. (Motiva Oy 2014, 2, 7.)

### 7.2 Reaaliaikainen energianseurantajärjestelmä

Reaaliaikaisella sähköenergian mittauksella saadaan selville mittauspisteen hetkellinen tila, energiankulutus ja sen vaihtelu. Energiankulutuksen reaaliaikainen seuranta mahdollistaa energiankäytön hahmottamisen kokonaisuutena ja sen avulla voidaan välittömästi seurata muutoksia sähkönkulutuksessa. Reaaliaikainen sähköenergian mittaus mahdollistaa myös kulutuskohteiden mittaus-tietojen siirtämisen langattomasti suoraan valvontakeskukseen, josta mittaus-tuloksia voidaan havainnoida jatkuvasti.

Energiankulutuksen äkillisistä muutoksista voidaan tarvittaessa ilmoittaa tuotantovastaaville, kunnossapitohenkilökunnalla ja yrityksen johdolle. Mittausjärjestelmän ansiosta myös eri osaprosesseista saadaan tarkemmin kulutustietoa. (Motiva Oy 2014, 9; Motiva Oy ja Wis Consulting Oy 2010, 12.)

Kuvassa 2 on havainnollistettu esimerkki reaaliaikaisesta energianmittauksesta. DIN-kiskoon kytketyllä yksivaihemittarilla voidaan mitata johtolähtöjen energiankulutusta, josta signaali viedään impulsseina riviliitin- tai keskuskohtaisille datakeskittimille. Datakeskittimeltä tieto viedään eteenpäin ethernet-verkkoa pitkin valvontakeskukseen, josta saadut mittaustiedot voidaan lukea tiedonkeruuohjelmistojen avulla. Mittaus voidaan toteuttaa myös solmu- ja väyläpohjaisella verkolla, jossa energiankulutustieto varastoidaan solmuun, jonka luenta tapahtuu tietyin väliajoin. Tiedonsiirto valvontakeskukseen voidaan toteuttaa myös parikaapelilla tai langattomasti. (Motiva Oy 2012, 21)



KUVA 1. Reaaliaikaisen energianmittauksen toimintaperiaate (Motiva Oy 2012, 21.)

### 7.3 Standardien mukaisen energianmittausjärjestelmän toteutus

ST-kortissa 21.34 määritellään Suomen lainsäädännön mukaiset asetukset, määräykset, standardit ja ohjeet energia- ja kulutushyödykkeiden energianmittaukselle. Siinä kerrotaan kuinka mittausjärjestelmä täytyisi toteuttaa ja miten mittausten seuranta ja analysointi täytyisi järjestää. Lisäksi siinä on ohjeistettu, kuinka eri energialajeja ja kulutushyödykkeitä tulisi mitata. (ST 21.34 2015, 1.)

ST 21.34:n mukaisesti rakennuksen lämmitys- tai sähköenergian päämittaus ei ole riittävä kiinteistön energiatehokkuuden todentamisessa. Kiinteistön energiatehokkuuden seuraamiseksi ja arvioimiseksi tulisi kiinteistö varustaa yksityiskohtaisemmalla energianmittausjärjestelmällä, jotta voidaan tarkastella eri osa-alueiden energiankulutusta tarkemmin. Yksityiskohtaisempi mittaus mahdollistaa myös toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi. (ST 21.34 2015, 1.)

ST-kortti tarkoittaa, että energiatehokkuuden valvonta ei ole ainoa syy energianmittausjärjestelmän toteutukselle. Energiankulutuksen mittaus on tärkeää myös laskutuksen ja riskienhallinnan kannalta. Energialaskutusten perusteella saadaan selvitettyä käyttötottumuksien vaikutus energiankulutukseen. Riskienhallinta vastaavasti vaikuttaa kiinteistön käyttö- ja ylläpitokustannuksiin, jotka ennaltaehkäisevät mahdollisia vikatilanteita. (ST 21.34 2015, 1.)

ST 21.34:n mukaan energianmittausjärjestelmä on myös osa ympäristöolosuhteiden seurantaa. Rakennukset on tarkoitettu tiettyä käyttötarkoitusta varten, joihin on määritelty tietyt olosuhteet. Niiden ylläpito kuluttaa energiaa ja aiheuttaa ylimitoitettuina tarpeettomia energiakustannuksia. Energiansäästötoimenpiteiden kannalta on siis tärkeää havainnoida, että energiankulutus pysyy olosuhteiden kannalta niille määritellyissä rajoissa. (ST 21.34 2015, 1.)

## 8 VALAISTUKSEN UUDISTAMINEN OVENSULJINTEHTAALLA

### 8.1 Valaistuksen nykytilanne ja uudistamisen tavoite

Valaistuksen uudistamisen tavoitteena oli tutkia ovensuljintehtaan valaistuksen energia- ja valaistus-tehokkuutta sekä valaistuksesta muodostuvia energiakustannuksia. Tarkoituksena oli tehdä kannattavuuslaskenta nykyiselle loisteputkivalaistukselle ja verrata sitä korvaavaan led-putkivalaistukseen. Kannattavuuslaskennan perusteella voidaan arvioida, onko yrityksen kannattavaa vaihtaa valaisimien loisteputket led-putkiin energiantehostamisen ja vähentyneiden energiankustannusten takia.

Valaisimia tehdasrakennuksessa on yhteensä noin 500 kappaletta, joista jokainen valaisin sisältää kaksi 58 W:n T8-kaksikantaloisteputkea. Led-valaistuksen koeasennusalueen vuoksi tehtaan viisitoista valaisinta korvattiin kolmellakymmenellä Easy Selectionin Aura T8 LED Retrofit 29 W/840, 4000K led-putkella. Led-valoputken tekniset tiedot on esitetty kuvassa 3.

TYYPPI	TEHO (W)	VALOVIRTA (lm)	TEHOKKUUS (lm/W)	PITUUS ILMAN NAS-TOJA (mm)	ENERGIALUOKKA
T8 LED Retrofit G2 AURA T8 LED RETROFIT 29W/840, 4000K	29	3200	110	1500	A+

KUVA 2. T8 LED Retrofit G2 -putken tekniset tiedot (Aura Light 2017-03-30, 2.)

### 8.2 Valaistusvoimakkuusmittaukset ja tulokset

Valaistusvoimakkuusmittauksilla selvitettiin noudattaako ovensuljintehtaan loisteputkivalaistus ja koeasennusalueen led-valaistus standardin SFS-EN 12461-1 mukaisia valaistusvaatimuksia metalliteollisuudessa ja metallinkäsittelyä koskevissa töissä. Valaistusvoimakkuusmittaukset toteutettiin tehtaan yleisvalaistukselle.

Standardi määrittelee valaistusvoimakkuuden vähimmäisvaatimukseksi karkeassa ja tavanomaisessa konetyössä 300 lx. Tarkkuuskonetyössä valaistusvoimakkuuden on oltava vähintään 500 lx, joka ovensuljintehtaan työpisteissä on tarvittaessa hoidettu erikseen lisävalaistuksella. (Valo ja valaistus 2011, 48.) Valaistusvoimakkuusmittarina käytettiin liitteen 1 Tenmars TM 209 -valaistusvoimakkuusmittaria, joka sisältää erikseen mittaustasot loiste- ja led-putkivalaistukselle.

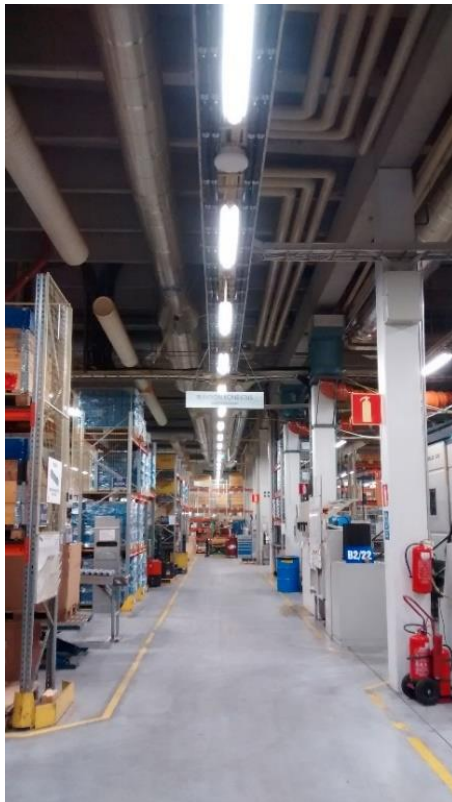
Valaistusvoimakkuusmittaukset tehtiin suoraan valaisimien alta ja niiden välistä. Mittaukset pyrittiin tekemään vuorokauden pimeänä aikana, jolloin luonnonvalolla oli mahdollisimman vähän vaikutusta saatuihin tuloksiin. Mittaukset toteutettiin metrin korkeudelta lattiasta, joka vastaa korkeudeltaan normaalia työskentelytasoa.

Valaistusvoimakkuusmittaukset tehtiin liitteen 3 mukaiselle ovensuljintehdasrakennukselle. Loisteputkivalaistusta koskeva mittaustilanne on rajattu punaisella. Vastaavasti sinisellä rajattu mittaustilanne tarkoittaa led-valaistuksen koeasennusaluetta, joka näkyy kuvassa 4. Pohjakuvaan on merkitty numeroin mittauspisteet.



KUVA 3. Led-valaistuksen koeasennusalue (Rummukainen 2017-03-30.)

Valaistusvoimakkuusmittauksia tehtiin loisteputkivalaistukselle kolmessakymmenessä mittauspisteessä, jotka sijaitsivat tehtaan työpisteissä ja kulkuväylillä. Osa loisteputkista oli loppuun palaneita, mikä vaikutti saatuihin mittaustuloksiin. Myös koneiden ja hyllyjen aiheuttamat varjostukset ja muut valaistusta estävät tekijät vaikuttivat osittain valaistusvoimakkuusarvoihin. Kuvassa 5 on havainnollistettu eräs kulkuväylällä sijaitseva mittauspiste.



KUVA 4. Loisteputkilla valaistu kulkuväylä (Rummukainen 2017-03-30.)

Koeasennusalueen pienuuden vuoksi led-putkivalaistukselle tehtiin mittauksia kuudesta eri pisteestä. Mittauspisteet pyrittiin valikoimaan siten, että ne antaisivat mahdollisimman todennukaisen kuvan koevalaistuksesta. Mittaustulokset ja lasketut valaistuskohdaiset keskiarvot valaistusvoimakkuuksille ovat esitetty taulukossa 4.

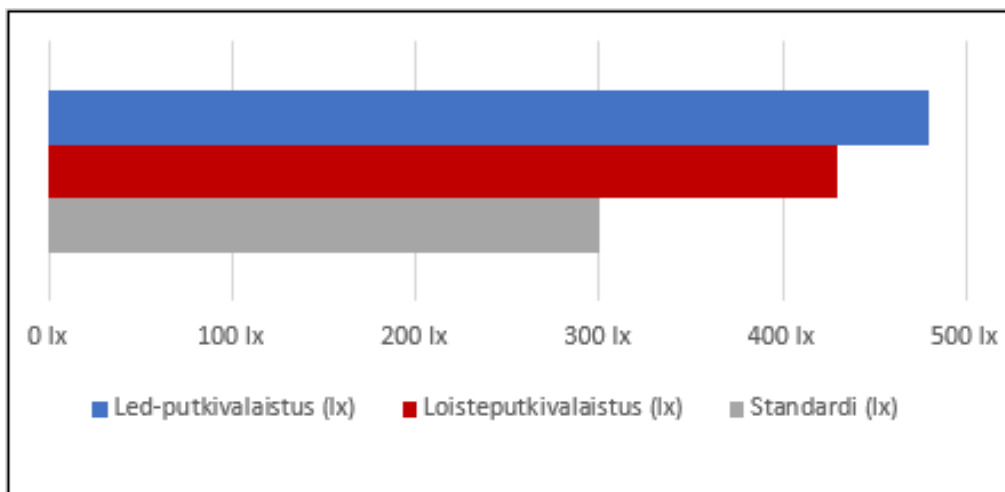
TAULUKKO 4. Valaistusvoimakkuusmittausten tulokset

Mittauspiste	Loisteputkivalaistus (lx)	Led-putkivalaistus (lx)
1.	430	470
2.	425	480
3.	405	470
4.	509	490
5.	482	490
6.	400	480
7.	353	
8.	153	
9.	425	
10.	465	
11.	145	
12.	430	
13.	428	
14.	481	
15.	513	
16.	460	
17.	391	
18.	515	
19.	500	
20.	680	
21.	410	
22.	470	
23.	220	
24.	455	
25.	430	
26.	430	
27.	520	
28.	501	
29.	462	
30.	420	
keskiarvo	430	480

Taulukon 4 valaistusvoimakkuusmittaustulosten ja standardin SFS-EN 12461-1 perusteella on laadittu kuvio 4. Kyseisessä kuviossa on esitetty loisteputki- ja led-putkivalaistuksen valaistusvoimakkuusmittaustulosten lasketut keskiarvot sekä standardin määrittelemä yleisvalaistuksen vähimmäisvaatimus metalliteollisuuden karkeassa ja tavanomaisessa työssä. Loisteputkivalaistukselle valaistusvoimakkuuden keskiarvo on laskettu mittaustuloksista 1-30 ja led-putkivalaistukselle mittaustuloksista 1-6.

Kuvion 4 mukaisesti standardiin verrattaessa loisteputki- ja led-putkivalaistuksen valaistusvoimakkuuksien keskiarvot täyttävät standardin määrittelemät valaistusvoimakkuuden vähimmäisvaatimukset. Ovensuljintehtaan valaistus on siis riittävä ja standardin mukaisesti hyväksytyllä tasolla. Led-putkivalaistuksen valaistusvoimakkuuden arvot ovat suurempia kuin loisteputkivalaistuksella, koska led-putkivalaistuksen valontoistokyky on loisteputkivalaistusta parempi. Led-putkivalaistus säteilee valoa suoraan alaspäin, joten se valaisee tehdashallia paremmin kuin loisteputkivalaistus. Toisaalta vertai-

lussa on huomioitava led-putkivalaistuksen pinta-alan suurus, joka on pienempi kuin loisteputkivalaistuksen pinta-ala. Koeasennusalueella on huomattavasti vähemmän valaistusta haittaavia esteitä, joilla on vaikutusta valaistusvoimakkuusmittarin antamiin mittaustuloksiin. Myös loisteputkivalaistuksen ikääntyminen vaikuttaa valovirran heikkenemiseen, joten ikääntyneen loisteputkivalaistuksen valaistusvoimakkuuden keskiarvoa ei voi suoranaisesti verrata uuden led-putkivalaistukseen.



KUVIO 4. Loisteputki- ja led-putkivalaistuksen valaistusvoimakkuudet verrattuna standardin SFS EN 12461-1 valaistusvoimakkuuden vähimmäisvaatimukseen

### 8.3 Kustannuslaskenta ja takaisinmaksuaika

Loisteputki- ja led-putkivalaistuksen vuosittaisia kustannuksia keskenään vertaamalla saatiin selvitettyä led-valaistuksen takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuajan perusteella voidaan todeta, onko yrityksen kannattavaa investoida uuteen valaistusjärjestelmään energiansäästösyiden vuoksi. Elinkaarilaskelmia tehdessä ei ole huomioitu yleistä hintatason nousua tai sähköenergian ostohinnan muutosta. Sähköenergian hinnan muutos vaikuttaisi takaisinmaksu aikaan, koska energiahinnan noustessa takaisinmaksuaika lyhentyisi entisestään ja vuosittaiset kustannussäästöt olisivat suuremmat. Laskelmat on kuitenkin tehty tämänhetkisten valaistustarjousten mukaisten hintojen perusteella ja nykyisen Abloy Oy:n sähköenergian ostohinnalla.

Ovensuljintehtaan vuosittaiset valaistuksen käyttötunnit ovat 6500 h/a. Valaisimia tarkasteltavalla osuudella on yhteensä 500, jolloin valoputkien kokonaismääräksi tulee 1000 kappaletta. Laskennassa käytetään Abloy Oy:n sähköenergian kokonaishintaa 0,07 €/kWh, joka sisältää sähköenergiasta, siirtomaksuista ja veroista muodostuvat kokonaiskustannukset. Sähköenergian kokonaishinnassa ei huomioida arvonlisäveron osuutta, koska sen yritys voi vähentää verotuksessa. Valaistuksen vuosittainen energiankulutus (kWh/a) ja energiakustannukset (€/a) voidaan ratkaista kaavoilla 4 ja 5.



$$K_{ENERGIANKULUTUS} = V_{LUKUMÄÄRÄ} \cdot V_{OTTOTEHO} \cdot V_{KÄYTTÖTUNNIT} \quad (4)$$

$$K_{ENERGIAKUSTANNUKSET} = \frac{K_{ENERGIANKULUTUS}}{K_{ENERGIAN HINTA}} \quad (5)$$

- $V_{LUKUMÄÄRÄ}$  on valaisimien lukumäärä yhteensä.
- $V_{OTTOTEHO}$  on yhden valaisimen ottoteho (W).
- $V_{KÄYTTÖTUNNIT}$  on valaistuksen vuosittaiset käyttötunnit (h/a).
- $K_{ENERGIAN HINTA}$  on sähköenergian ostohinta (€/kWh).

Loisteputkivalaistuksen yhden valaisimen ottoteho on 125 W, jossa on huomioitu liitälaitteiden kulluttama pätötehon osuus. Loisteputkivalaistus on toteutettu ei-himmennettävillä elektronisilla liitälaitteilla, joiden energiatehokkuusluokka on A2 BAT. Valaistuksen tehollinen hyötysuhde ei-himmennettävillä T8-mallin 58 W loisteputkilla on 93 % (CELMA 2009, 19). Kaavoilla 4 ja 5 loisteputkivalaistuksen kokonaistehoksi saadaan yhteensä 62,5 kW. Valaistuksen vuosittainen energiankulutus on 406 MWh/a, jolloin energiakustannukset ovat vuodessa noin 28 400 euroa.

Led-putkivalaistuksen yhden valaisimen ottoteho on 48 W, jolloin valaistuksen kokonaistehoksi saadaan yhteensä 24 kW. Vastaavasti vuosittaiseksi energiankulutukseksi saadaan 156 MWh/a ja energiakustannukseksi suunnilleen 10 900 euroa. Ovensuljintehtaan valaistuksen vuotuinen energiansäästö olisi 250 MWh led-valaistuksella toteutettuna verrattuna loisteputkivalaistukseen, jolloin energiakustannussäästöt olisivat vuodessa likimäärin 17 500 euroa. Uuden valaistusjärjestelmän sähköenergiasäästön osuus olisi siis yli 60 % enemmän vanhaan järjestelmään verrattuna.

Valaistuksen vuosittaisessa kustannuslaskennassa on sähköenergiakustannusten lisäksi huomioitava valaistuksen asennus- ja materiaalikustannukset, jotka muodostuvat valoputkista sekä liitälaitteisiin tehtävistä muutoksista. Kokonaiskustannukset voidaan laskea kaavalla 6.

$$K_{KOKONAISKUSTANNUS} = V_{LUKUMÄÄRÄ} \cdot (V_{PUTKEN HINTA} + V_{ASENNUSKUSTANNUS}) \quad (6)$$

- $V_{LUKUMÄÄRÄ}$  on valaisimien lukumäärä yhteensä
- $V_{PUTKEN HINTA}$  on yhden valoputken hinta (€)
- $K_{ASENNUSKUSTANNUS}$  on valoputken ja liitälaitteiden asennushinta (€)

Loisteputkivalaistuksen ja led-putkivalaistuksen kokonaiskustannuksia laskettaessa käytetään erään sähköurakointiyrityksen tarjouksen mukaisia arvonlisäverottomia hintoja. Loisteputken hinta on 3 €/kpl ja yksi valaisin sisältää kaksi loisteputkea. Yhden valaisimen asennuskustannuksen hinta on 6 €/kpl. Kokonaiskustannukseksi saadaan loisteputkivalaistukselle kaavan 6 mukaisesti yhteensä noin 6000 euroa.

Led-putkivalaistuksen kokonaiskustannuksia laskettaessa led-putken hintana käytetään 21 €/kpl. Valaisimen asennuskustannus on 6 €/kpl, joka sisältää kaksi led-putkea ja elektronisten liitäntälaitteiden ohituksen. Led-putkivalaistuksen kokonaiskustannukset ovat yhteensä noin 24 000 euroa.

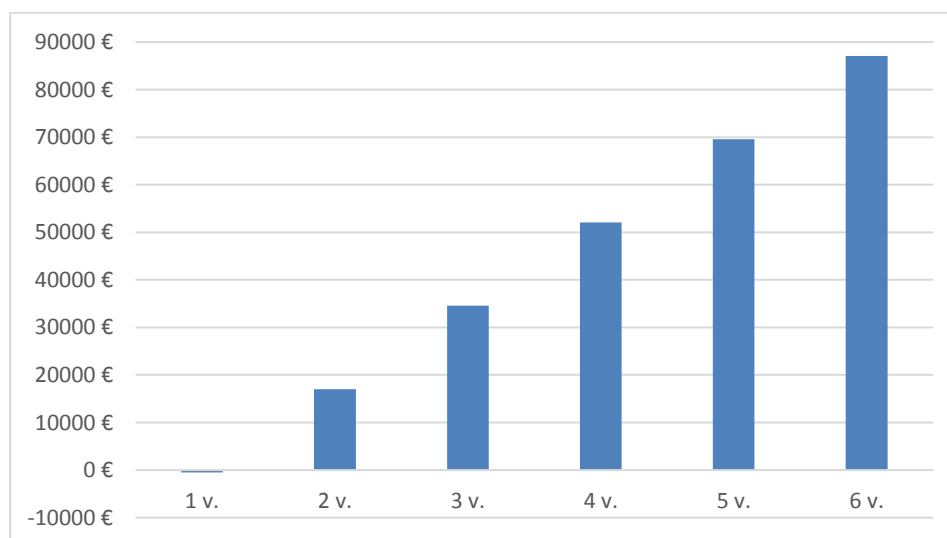
Takaisinmaksuaika led-putkivalaistukselle voidaan selvittää vuosittaisesta valaistusten energiansäästökustannuksista ja kokonaiskustannuksista kaavan 7 mukaisesti. Takaisinmaksuaikaa laskiessa on myös huomioitu loisteputkivalaistuksen uusimisesta aiheutuvat kustannukset, koska nykyiset loisteputket ovat iältään elinkaarensa ylittäneitä ja ne olisi joka tapauksessa uusittava.

$$LED_{TAKAISINMAKSUAIKA} = \frac{K_{KOKONAISKUSTANNUSTEN\ EROTUS}}{K_{ENERGIAKUSTANNUSSÄÄSTÖT}} \quad (7)$$

- $K_{KOKONAISKUSTANNUSTEN\ EROTUS}$  on loisteputki- ja led-putkivalaistuksen kokonaiskustannusten välinen erotus (€)
- $K_{ENERGIAKUSTANNUSSÄÄSTÖT}$  ovat ovensuljintehtaan valaistuksen vuotuiset sähköenergiesäästöt toteutettuna led-valaistuksella (€)

Elinkaarikustannuslaskelmat tehtiin kuudelle vuodelle, joka on valmistajan antama keskimääräinen elinikä T8 LED Retrofit G2 led-putkelle (Aura Light 2016, 2). Laskelmat tehtiin peruslaskentamenetelmän mukaisesti, jolloin korkokantaa ei huomioida lyhyen aikajakson vuoksi. Elinkaaren aikana tapahtuvien yksittäisten valoputkien vaihtoa ei huomioida laskennassa, koska vuotuiset huolto- ja korjauskustannukset loisteputki- ja led-putkivalaistuksella olisivat lähimain saman suuruiset.

Led-valaistuksen vuosittaiset kustannussäästöt on esitetty kuviossa 5. Kaavan 7 laskentatuloksen ja kuvion 5 perusteella voidaan todeta, että ovensuljintehtaan led-valaistuksen takaisinmaksuajaksi saadaan yksi vuosi. Kustannussäästöä led-putkivalaistuksella ei vielä ensimmäisen vuoden aikana tapahdu, mutta seuraavana viitenä vuotena vuosittainen säästö on noin 17 500 euroa. Led-putkivalaistuksen elinkaaren aikana kustannussäästöä aiheutuu yhteensä lähes 90 000 euroa.



KUVIO 5. Valaistuksen vuotuiset kustannussäästöt toteutettuna led-putkivalaistuksella

#### 8.4 Valaistuksen energiatehokkuusindeksi

Ovensuljintehtaan valaistuksen energiatehokkuus voidaan selvittää energiatehokkuusindeksillä eli LENI-luvulla. Energiatehokkuus selvitetään loisteputki- ja led-putkivalaistukselle kaavan 1 mukaisesti tutkittavalle valaistusalueelle, jolloin saadaan ovensuljintehtaan valaistuksen kokonaisenergiankulutuksen suhde sen valaistuspinta-alaan.

LENI-luvun laskennassa on käytetty pikalaskentamenetelmää. Pikalaskentamenetelmän vuoksi vuotuisen valaistuksen kuluttamaan energian määrään lisätään valaistuksen lepokulutukseen vaadittava sähköenergian osuus 6 kWh/m<sup>2</sup>. Laskennassa valaistuksen vuotuisena käyttöaikana on käytettävä 4000 tuntia, koska standardin SFS-EN 50160 määrittelemät pikalaskentamenetelmän ohjearvot teollisuudelle on toteutettu kyseiselle käyttötuntimäärälle. Tarkasteltavan valaistuspinta-alan suuruus on 4200 m<sup>2</sup>.

Taulukossa 5 on standardin SFS-EN 50160 antamat ohjearvot teollisuuden valaistuksen energiatehokkuudelle. Valaistusluokkana käytetään teollisuuden laatuluokkaa 1, joka on tarkoitettu perustason valaistukselle. Vertailuarvona noudatetaan lukua 43,7 kWh/m<sup>2</sup>, koska valaistus ei sisällä vakiovalaistusvoimakkuuden ohjausjärjestelmää ja se toimii käsiohjauksella. Taulukossa P<sub>n</sub> tarkoittaa asennetun valaistuksen kokonaistehoa pinta-alaa kohti, t<sub>d</sub> päivänvalon aikaisen valaistuksen käyttöajan ja t<sub>n</sub> pimeään aikaan tapahtuvan valaistuksen käyttöajan.

TAULUKKO 5. Vertailuarvot teollisuuden valaistuksen energiatehokkuusindekseille (Rakennusten energiatehokkuus 2008, 108; Suomen Valoteknillinen Seura ry 2008, 26.)

Valaistusluokka	P <sub>n</sub> (W/m <sup>2</sup> )	t <sub>d</sub> (h)	t <sub>n</sub> (h)	LENI-luku (kWh/m <sup>2</sup> ,a)			
				ei vakiovalosäätöä		vakiovalosäätö	
				manuaali	auto	manuaali	auto
1	10	2500	1500	43,7	41,2	39,7	37,5
2	20	2500	1500	83,7	78,7	75,7	71,2
3	30	2500	1500	123,7	116,2	111,7	105

Ovensuljintehtaan loisteputkivalaistuksen vuotuinen energiankäyttö 4000 tunnin osuudelta on 250 MWh/a, joten LENI-luvuksi saadaan 110 kWh/m<sup>2</sup>,a. Vastaavasti led-putkivalaistuksella vuotuinen energiankäyttö olisi 96 MWh/a, jolloin LENI-luvun arvoksi tulee 46 kWh/m<sup>2</sup>,a. Valaistuksen energiatehokkuus on käytännössä standardin mukaisissa rajoissa led-putkivalaistuksella toteutettuna. Loisteputkivalaistuksen energiatehokkuuden indeksiarvo ylittää merkittävästi standardin viitearvon, joten se ei ole energiatehokas vaihtoehto lasketulle valaistusalueelle.

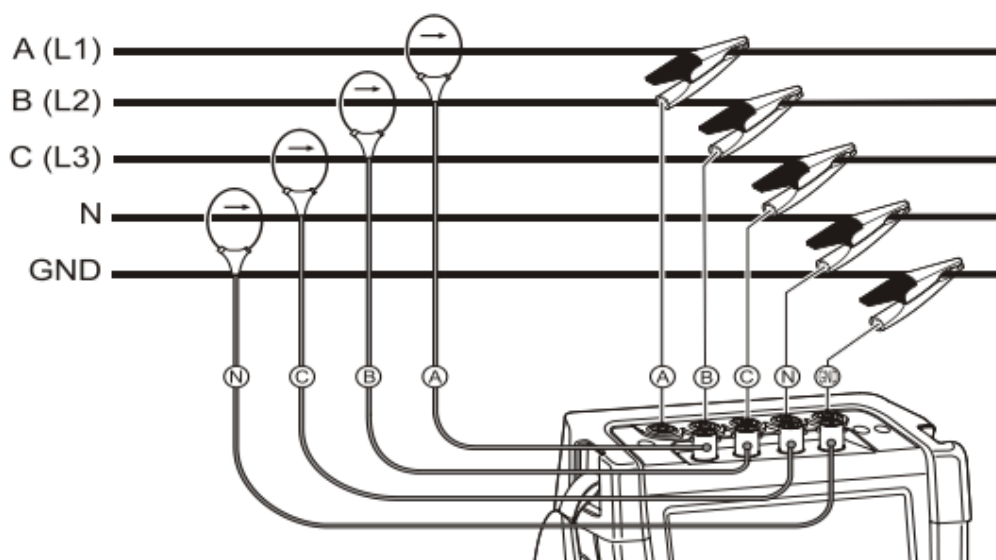
## 9 SÄHKÖN LAADUN MITTAUKSET OVENSULJINTEHTAALLA

### 9.1 Mittauksen tavoitteet ja toteutus

Sähkön laadun mittausten tavoitteena oli selvittää, täyttääkö ovensuljintehtaan sähkön laatu standardin SFS-EN 50160 mukaiset vaatimukset jänniteominaisuuksille. Mittauspisteeksi valittiin ovensuljintehtaan sähköpääkeskus, koska tällöin saatiin tieto koko ovensuljintehtaan sähkön laadusta. Pääkeskukselta lähtee sähkönsyötöt nousukeskuksille, joista edelleen jakokeskusten kautta tapahtuu sähkönsyötöt laitteille.

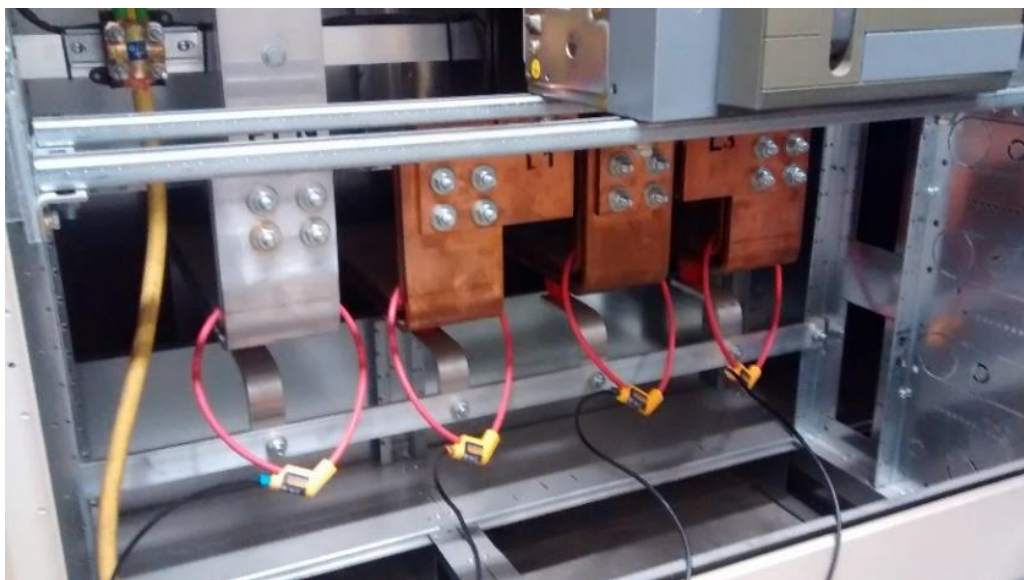
Mittaukset tehtiin liitteessä 1 esitetyllä Fluke 435 II -tehoanalysaattorilla, jolla on mahdollista mitata kaikki standardin vaatimat sähkön laatuun vaikuttavat häiriötekijät. Lisäksi sillä voidaan mitata vaihekohtaisia virtoja ja jännitteitä sekä kolmivaiheisia tehosuureita. Tehoanalysaattorin logger-toiminto mahdollistaa mittaustulosten tallentamisen tietyn väliajoin analysaattorin muistikortille, jolloin käyttäjä voi itse valita tallennettavaksi haluamansa mittaussuureet. (Fluke Corporation 2012, 3-2, 3-3.)

Fluke 435 II -tehoanalysaattorin mittauskytkeä kolmivaihejärjestelmään tapahtuu kuvan 6 tavalla. Aluksi kytketään virtapihdit vaiheiden L1, L2, L3 ja N ympärille. Virtapihtejä kytkiessä on huomioitava niihin merkitty virran suunta. Jännitekytkennät toteutetaan hauenleuoilla ja kytkentä aloitetaan kytkeä ensiksi maadoitusjohdin ja sitten vaiheet L1, L2, L3 ja N. Ennen mittausta analysaattoriin täytyy asettaa mittauspisteen nimellisjännite, nimellistajuus ja johdotuskytkeä. Lisäksi kytkennän oikeellisuus on tarkistettava analysaattorin oskilloskooppi- ja vektorinäytöstä. (Fluke Corporation 2012, 6-2, 6-3.)



KUVA 5. Tehoanalysaattorin kytkeä kolmivaihejärjestelmään (Fluke Corporation 2012, 6-2.)

Tehoanalysaattorin i430 Flex-malliset virtapihdit kytkettiin pääkeskuksessa sijaitseviin virtakiskoihin. Virtapihtien kytkentä on havainnollistettu kuvassa 7. Tarvittava mittaajajännite otettiin hauenleuoilla kuormittamattomasta kytkinvarokelähdöstä, joka on esitetty kuvassa 8. Mittauskytkentä täytyi tehdä jännitteisiin virtakiskoihin, joten kytkennän tekivät sähköalan ammattihenkilöt.



KUVA 6. Virtapihtien kytkentä pääkeskuksen virtakiskoihin L1, L2, L3 ja PEN (Rummukainen 2017-04-05.)



KUVA 7. Jännitekytkentä toteutettuna varokeytikimen virtakiskoista (Rummukainen 2017-04-05.)

## 9.2 Sähkön laadun mittaukset ja tulokset

Sähkön laatua mitattiin jatkuvasti pääkeskukselta standardin SFS-EN 50160 ohjeistamana yhteensä viikon ajan (2.2–9.2.2017), jotta saatiin mittausajaltaan standardin ehtojen mukaiset mittaustulokset. Analysaattori laski saaduista mittaustuloksista keskiarvon kymmenen minuutin välein, mikä mahdollistaa mittaustulosten vertailun standardin antamiin raja-arvoihin. Power Log -ohjelmistolla mittaustuloksia voidaan tarkastella yksityiskohtaisesti mittauksen eri ajankohtina.

### 9.2.1 Kolmivaiheiset teho- ja energiasuureet

Ovensuljintehtaan pätötehon enimmäisarvo oli mittauksen aikana hetkellisesti 983 kW ja loistehon 187 kVar. Tehokertoimen arvo oli yksi lähes koko mittauksen ajan, mikä johtuu ovensuljintehtaan loistehon kompensoinnista Nokian D-sarjan estokelaparistoilla. Nokian D-sarjan estokelaparistot on tarkoitettu suuritehoisten sähkökeskusten loistehon kompensointiin, mitkä estävät myös muuntajan induktanssin ja kondensaattoripariston kapasitanssin muodostaman resonanssitaajuuden sähköverkossa (Nokian Capacitors 2008, 7, 9). Automaattisesti säätävät estokelaparistot on esitetty kuvassa 9. Tehosuureiden ja tehokertoimen keskiarvot on esitetty vaihekohtaisesti liitteessä 4.



KUVA 8. Nokian D-sarjan estokelaparistot (Rummukainen 2017-04-07.)

Ovensuljintehtaan viikon aikainen pätötehon ja loistehon kulutus saadaan kertomalla tehosuureet mittaukseen käytetyllä tuntimäärällä, joka on yhteensä 168 tuntia. Pätötehon kokonaiskulutus oli 85 MWh ja loistehon 3,7 MVarh. Energiasuureiden vaihekohtaiset kokonaiskulutusten enimmäisarvot mittausajalta ovat esitetty liitteessä 5.

Tuloksista havaitaan näennäistehon käyrän noudattavan pätötehon mukaista kulutusta, joka johtuu sähköverkossa esiintyvän loistehon vähyydestä. Energiankulutus painottuu pitkälti pätötehoon, joka johtuu tuotantolaitteiden ja kiinteistösähkön tarvitsemasta sähköenergiasta. Osa sähkölaitteista, kuten oikosulkumoottorit, vaativat kuitenkin toimiakseen loistehoa, joka on kompensoitu automaattisilla kondensaattoriparistoilla.

### 9.2.2 Jännitetason muutokset

Sähköverkon jännitetaso vaihteli viikon aikana  $230\text{ V} \pm 1,3\text{--}3\text{ \%}$  eli  $227\text{--}237\text{ V}$  välillä. Standardin mukaan jännitetaso saa vaihdella kymmenen minuutin keskiarvoina  $230\text{ V} \pm 10\text{ \%}$  ( $207\text{--}253$ ) 95 % keskiarvoista ja  $230\text{ V} \pm 10\text{--}15\text{ \%}$  ( $195,5\text{--}253\text{ V}$ ) 100 % keskiarvoista (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 20). Jännitetason vaihtelut täyttävät standardin vaatimukset ja tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 6.

Liitteestä 6 voidaan havaita, että suurin hetkellinen jännitteenmuutos mittauksen aikana on tapahtunut 5.2.2017, jonka suuruus on noin 3 % ( $229\text{--}237\text{ V}$ ) ja kesto noin 10 minuuttia. Suurin hetkellinen jännitteen muutos on esitetty kuvassa 10. Standardi määrittelee, että nopea jännitteenmuutos saa olla  $230\text{ V} \pm 10\text{ \%}$  ( $207\text{--}253\text{ V}$ ) (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 20). Suurin hetkellinen jännitteen muutos ei siis ylitä standardin mukaista raja-arvoa.



KUVA 9. Suurin hetkellinen jännitteen muutos mittauksen aikana

Sähköverkon välkyntä oli korkeimmillaan 0,18, joka voidaan nähdä vaihekohtaisesti liitteestä 7. Standardin ehtona on, että pitkäaikaisen välkyntän häiritsevyysindeksin (Plt) arvon on oltava alle yksi 10 minuutin keskiarvoista viikon ajan (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 22). Välkyntän häiritsevyysindeksi on siis sallituissa rajoissa.

Mittausjakson aikana ei esiintynyt jännitekuoppia, jolloin jännitteen taso olisi laskenut hetkellisesti yli 10 % sähköverkon nimellisjännitteestä. Mittausten aikana ei myöskään tapahtunut lyhyt- tai pitkäaikaisia sähkönjakelun keskeytyksiä, jotka olisivat vaikuttaneet äkillisesti jännitetason muutokseen.

Hetkelliset ylijännitteet eivät ylittäneet standardin määrittelemiä arvoja käyttötaajuisille ja transienttiylijännitteille. Standardi mukaan käyttötaajuinen ylijännite on yli 10 % nimellisjännitteestä ja transienttiylijännite on edestakaisin värähtelevä muutaman millisekunnin kestävä lyhytaikainen jännitepiikki (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 28, 60).

### 9.2.3 Jännitteen epäsymmetria

Jakelujännitteen vastakomponentti oli mittauksen aikana suurimmillaan 0,33 % liitteen 8 mukaisesti. Standardi määrittelee, että viikon aikana jakelujännitteen vastakomponentin on oltava 10 minuutin keskiarvoista korkeintaan noin 2 % myötäkomponentista (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 22). Sähköverkossa esiintyvä jakelujännitteen epäsymmetrisyys ei ylitä standardin määrittelemää ehtoa jännitteen epäsymmetrisyydelle.

### 9.2.4 Verkkotaajuus

Mittausjakson aikana verkkotaajuus vaihteli  $50 \text{ Hz} \pm 0,3 \text{ \%}$  (49,8–50,2 Hz). Standardi määrittelee sallituksi vaihteluväliksi kymmenen sekunnin keskiarvoina  $50 \text{ Hz} \pm 1 \text{ \%}$  (49,5–50,5 Hz) 99,5 % vuodesta ja  $50 \text{ Hz} \pm 4\text{--}6 \text{ \%}$  (47–52 Hz) (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 20). Sähköverkon taajuus on siis standardin mukaisissa rajoissa. Liitteessä 4 on esitetty mittausjakson verkkotaajuuden vaihtelua vaihekohtaisesti.

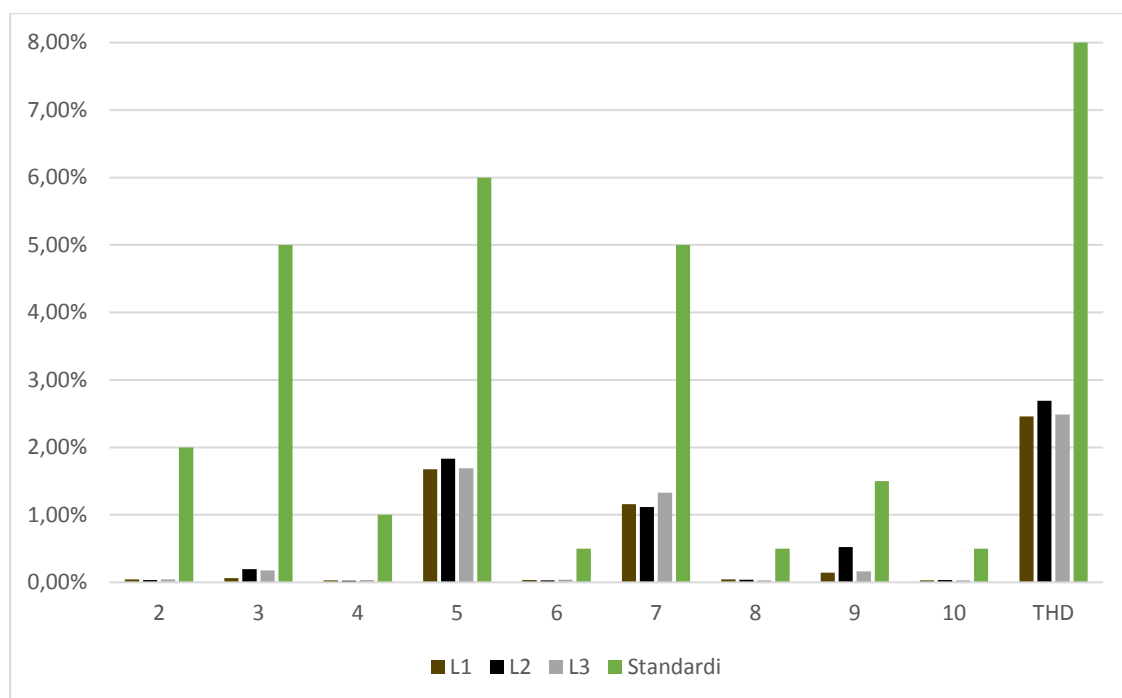
### 9.2.5 Verkon signaalijännitteet

Verkon signaalijännitteiden esiintyvyyttä sähköverkossa mitattiin vaihekohtaisesti kuvion 3 mukaisella taajuusalueella. Standardi määrittelee, että 99 % mittausarvoista on oltava alle kuvion rajakäyrän (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 24). Liitteestä 9 voidaan havaita, että suurin esiintynyt verkon signaalijännite on jänniteprosentteina reilusti alle standardin raja-käyrän, joten verkon signaalijännitteet ovat sallituissa rajoissa.

### 9.2.6 Harmoniset ja epäharmoniset yliaaltojännitteet

Harmonisten yliaaltojännitteiden parilliset ja parittomat yliaaltojen mittaustulokset vaihekohtaisesti prosentteina perusaallosta on esitetty kuviossa 6. Mittaustulokset on huomioitu järjestysluvultaan yliaaltoon 10 asti, koska sitä järjestysluvultaan suurempien yliaaltojen esiintyvyys on prosentuaalisesti vähäistä. Saaduista tuloksista voidaan havaita, että parillisten ja parittomien järjestyslukujen yliaallot ovat standardin määrittelemissä rajoissa. Kuviossa on myös mittaustulosten yliaaltojen kokonaissärökertoimen THD-arvo vaihekohtaisesti, joka huomioi kaikki harmoniset yliaallot järjestysluvultaan 40 asti. Standardi määrittelee sallituksi kokonaissärön arvoksi korkeintaan 8 %, joka täyttyy jokaisella vaiheella. (Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 34).





KUVIO 6. Harmonisten yliaaltojännitteiden mittaustulokset verrattuna standardiin SFS-EN 50160

Epäharmonisten yliaaltojännitteiden esiintyvyys vaihekohtaisesti on alle yhden prosentin, joten niiden merkitys sähkön laatuun on vähäistä. Standardi ei erikseen määrittele raja-arvoja epäharmonisten yliaaltojen esiintyvyydelle sähköverkossa, joten epäharmonisia yliaaltoja ei ole huomioitu tuloksia tarkastellessa.

## 10 SUUNNITELMA OVENSULJINTEHTAAN ENERGIANSEURANTAJÄRJESTELMÄSTÄ

### 10.1 Energiaseurantajärjestelmän tavoitteet ja tarkoitus

Energianseurantajärjestelmän suunnitelman tavoitteena oli selvittää, miten energiankulutusta voitaisiin mitata tarkemmin ovensuljintehtaalla. Mikäli energianseurantajärjestelmä toteutettaisiin useammasta mittauspisteestä, voitaisiin huomata kohteet, joissa energiankulutusta voitaisiin tehostaa. Pää- ja ovensuljintehtaalla on jo olemassa yhteinen kiinteistöautomaatiojärjestelmä, mutta se mittaa ainoastaan energian kokonaiskulutusta, ja joitakin tuotannon sekä kiinteistön sähkönkulutusta koskevia mittauskohteita. Seuraamalla energiankulutusta keskuksittain voidaan havaita osa-alueet, joissa energiankulutusta voitaisiin taloudellisesti parantaa.

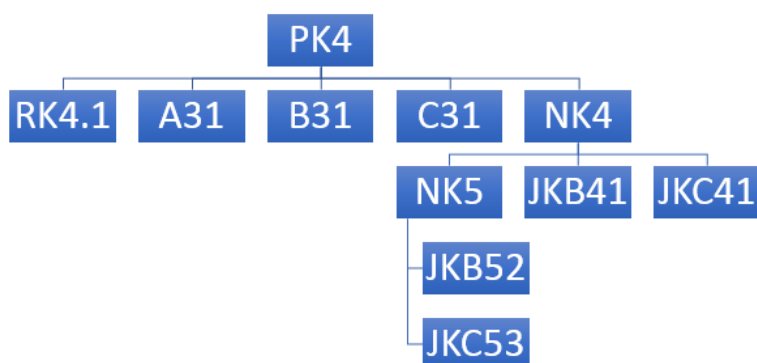
Tarkoituksena oli tutkia olemassa olevia pilvipalvelupohjaisia energianseurantajärjestelmiä ja toteuttaa niiden pohjalta toimiva ratkaisumalli ovensuljintehtaan energian seurantaan. Energianseurantajärjestelmän suunnitelmasta pyydettiin tarjous Sensire Oy:ltä, joka suunnittelee ja toteuttaa sähköisiä valvontamenetelmiä yrityksille.

### 10.2 Energianseurantajärjestelmän toteutus

Energianseurantajärjestelmän mittauspisteiksi valittiin sähkökeskuksia, joiden perusteella saataisiin mahdollisimman hyvin selville ovensuljintehtaan energiankulutuksen jakautuminen tehtaan osa-alueilla. Valittujen mittauspisteiden energiankulutusta seuraamalla voidaan havaita paljon energiaa kulluttavat kulutuskohteet, joiden energiankulutusta voitaisiin mahdollisesti tehostaa. Mikäli Abloy Oy toteuttaisi energianseurantajärjestelmän ovensuljintehtaalle, täytyisi se tehdä tuotannon keskeyttämisen välttämiseksi tehtaan vuosihuollon aikana.

#### 10.2.1 Mittauspisteet

Mittauspisteiksi valittiin yhteensä 11 sähkökeskusta, joihin sisältyy ovensuljintehtaan pääkeskus, kaksi nousukeskusta ja kahdeksan ryhmä- tai jakokeskusta. Suurin osa suunnitelmaan valituista mittauspisteistä oli kiinteistön jakokeskuksia, jotka sisältävät valaistuksen, ilmastoinnin ja kiinteistön sähkölaitteiden ohjausta. Valitut sähkökeskukset ja niistä muodostettu havainnollistava nousujohtokaavio on esitetty kuviossa 7.



KUVIO 7. Suunnitelmaan valitut mittauspisteet

Kuviosta voidaan havaita, että pääkeskus (PK4) syöttää ryhmäkeskusta RK4.1, sähkökeskuksia A31, B31, C31 ja nousukeskusta (NK4). Nousukeskukselta neljä lähtee sähkönsyöttö nousukeskukselle (NK5) ja jakokeskuksille JKB41 ja JKC41. Vastaavasti nousukeskukselta viisi lähtee sähkönsyöttö jakokeskukselle JKB52 ja JKC53.

## 10.2.2 Suunnitelma ja sen toteutus

Energianseurantajärjestelmän suunnitelma toteutettiin valittujen mittauspisteiden perusteella. Suunnitelmassa on huomioitu energianseurantajärjestelmään tarvittavat mittauslaitteistot ja niiden laitekohtainen sijoittelu keskuksiin. Suunnitelman mukainen mittauslaitteisto koostuu EMS-keskuksista, energiamittareista (kWh- ja MID-mittarit) ja väylätoistimista.

EMS-keskus on energiamittausjärjestelmän ydin, joka yhdistetään RS485/Modbus-väylän kautta energiamittareihin, jotka lukevat mittauspistekohtaiset kulutustiedot. EMS-keskusten määrään vaikuttaa kaapeloinnin toteutustapa sähkökeskusten välillä. Yksi EMS-keskus sijoitettuna sähköpääkeskukseen riittää, mikäli kaapeloinnin toteuttaminen on mahdollista eri sähkökeskusten välillä. Tällöin EMS-keskuksen läpi rakennetaan väyläyhteys jokaisen sähkökeskuksen ja energiamittarin kautta. Tarvittaessa voidaan asentaa jokaiseen sähkökeskukseen oma EMS-keskus, joka yhdistetään kyseisessä sähkökeskuksessa oleviin energiamittareihin.

Energiamittareina mittausjärjestelmässä voidaan käyttää kWh-mittareita tai MID-mittareita. MID-mittari on laskutuskäyttöön soveltuva energiamittari, joka on muuten ominaisuuksiltaan samanlainen kuin kWh-mittari. Molempia mittareita olisi mahdollista käyttää ovensuljintehtaan energianseurantajärjestelmässä, mutta luultavasti energiamittaus voitaisiin toteuttaa perinteisellä kWh-mittarilla.

Energianseurantajärjestelmään täytyy lisätä väylätoistin, jos energiamittareita on yli 30 kappaletta tai signaalin vahvuus väylässä ei riitä mittauslaitteiden välillä. Signaali ei kulje koko väylän välillä, jos väylän yhteispituus kasvaa liian pitkäksi. Väylätoistinta ei välttämättä tarvita ja sen tarpeellisuutta täytyisi tutkia tarkemmin mittausjärjestelmän toteutusvaiheessa.

Energiamittausjärjestelmä tarvitsee toimiakseen myös sähkökeskuskohtaiset virtamuuntajat, joilla virran suuruus saadaan muutettua mittauslaitteistolle sopivaksi. Osa sähkökeskuksista sisältää entuudestaan virtamuuntajat, mutta joihinkin sähkökeskuksiin ne on lisättävä erikseen.

Eräs mahdollinen ovensuljintehtaan energianseurantajärjestelmän toteutustapa on esitetty taulukossa 6. Suunnitelma on tehty siten, että EMS-keskuksia mittausjärjestelmässä on enemmän kuin yksi, jolloin kaapelointimatkat sähkökeskusten välillä lyhenevät. Suunnitelmaan on valittu kolme EMS-keskusta, jotka on sijoitettu sähköpääkeskukseen PK4 ja nousukeskuksiin NK4 ja NK5. Energiamittareiksi voidaan valita sähkökeskuskohtaisesti kWh-mittari ja tarvittaessa MID-mittari. Väylätoistin voitaisiin sijoittaa nousukeskukseen NK4, mikäli signaalin jatkuvuus edellyttää sitä.

TAULUKKO 6. Ovensuljintehtaan energianseurantajärjestelmän mittauslaitteiston sijoittelu sähkökeskuskohtaisesti

Sähkökeskus	EMS-keskus	MID-mittari	kWh-mittari	Väylätoistin
PK4	x	x	x	
RK4.1		x	x	
A31		x	x	
B31		x	x	
C31		x	x	
NK4	x	x	x	x
JKB41		x	x	
JKC41		x	x	
NK5	x	x	x	
JCB52		x	x	
JKC53		x	x	

Taulukossa 6 esitetty energianseurantajärjestelmän suunnitelma on toteutettu useammalla EMS-keskuksella. Suunnitelma voitaisiin toteuttaa myös vain yhdellä pääkeskukseen sijoitetulla EMS-keskuksella, mutta tällöin väyläkaapeloinnin yhteispituus kasvaisi. Varmatoimisempi vaihtoehto on kuitenkin toteuttaa energianseurantajärjestelmä useammalla EMS-keskuksella. Toisaalta kyseinen toteutustapa vaatii enemmän mittauslaitteita, mikä nostaa kokonaiskustannuksia mittausjärjestelmää toteutettaessa.

Suunnitelman mukaisen energianseurantajärjestelmän toteutuksesta aiheutuvia kustannuksia ei esitetä opinnäytetyössä, koska tarjous ei ole toistaiseksi julkinen. Kokonaiskustannukset muodostuisivat kuitenkin mittauslaitteista, kuukausittaisista palvelumaksuista ja muista energianseurantajärjestelmän käyttöönotosta aiheutuvista kustannuksista.

### 10.2.3 Energiaseurantapalvelu

Ovensuljintehtaan energiankulutusta voitaisiin seurata reaaliaikaisesti Sensiren EMS pilvipalvelupohjaisella energianseurantapalvelulla, jonne tallentuu automaattisesti reaaliaikaiset mittautiedot valituista mittauspisteistä. Energiankulutusta voidaan havainnoida jatkuvasti tietokoneella, älypuhelimella tai tabletilla. Reaaliaikaista kulutustietoa voitaisiin esittää myös info-tv-järjestelmän välityksellä koko tehtaan henkilöstölle.

Energiaseurantapalvelu mahdollistaa energiankulutuksen seuraamisen halutuista mittauspisteistä, joita voi tarvittaessa lisätä tai poistaa palvelun hallintaportalissa. Hallintaportalista voi myös tarvittaessa tulostaa mittauspistekohtaisia energianseurantaraportteja. Lisäksi hallintaportalin kautta voidaan määritellä hälytysrajat mittauspisteiden raja-arvojen ylityksille, jolloin käyttäjä saa ilmoituksen välittömästi tekstiviestillä tai sähköpostilla.

Energiaseurantapalvelu on suojattu ulkopuoliselta käytöltä, joten palveluun kirjaudutaan internet-pohjaisesti käyttäjätunnuksilla. Energiankulutusta voidaan havaita reaaliaikaisesti palvelun yleisnäkymästä ja halutulta aikaväliltä voidaan muodostaa kulutusta koskevia tilastoja. Liitteissä 10 ja 11 on esitetty esimerkkikuvia käyttöliittymästä.

## 11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, kuinka sähköenergiankäyttöä voidaan parantaa Abloy Oy:n ovensuljintehtaalla valaistuksen, sähkön laadun ja energiankulutuksen seurannan kannalta. Työn toteutus koskee energiatehokkuuden parantamista, joka on osa Abloy Oy:n ympäristöpolitiikkaa.

Loisteputki- ja led-putkivalaistuksen valaistusvoimakkuutta mitattiin valaistusvoimakkuusmittarilla ja saatuja valaistusvoimakkuustuloksia verrattiin valaistusstandardiin SFS-EN 12464-1. Lisäksi selvitettiin molempien valaistustapojen energiatehokkuusindeksi standardin SFS-EN 15193 mukaisesti ja laskettiin kustannuksellinen takaisinmaksuaika led-putkivalaistukselle.

Kustannuslaskentojen perusteella yrityksen on taloudellisesti kannattavinta toteuttaa valaistus ovensuljintehtaalle led-putkivalaistuksella. Valaistuksen vuosittaiset kustannussäästöt olisivat huomattavat. Takaisinmaksuaika led-putkivalaistukselle on vain noin yksi vuosi, joten valaistukseen sijoittaminen pitkällä aikavälillä on energiatehokasta. Lisäksi led-putkivalaistus lisää yrityksen myönteistä suhtautumista ympäristöarvoihin.

Valaistusvoimakkuusmittaustuloksista voidaan havaita loisteputkivalaistuksen sekä led-putkivalaistuksen täyttävän valaistusstandardin SFS-EN 12464-1 määrittelemät ehdot metalliteollisuuden yleisvalaistukselle. Tulosten perusteella voidaan todeta, että led-putkivalaistus tuottaa valoa enemmän kuin loisteputkivalaistus, mikä myös osittain johtuu loisteputkivalaistuksen ikääntymisestä. Valaistusta uusiessa on myös tärkeätä huomioida, että se tehdään tuotannon ehdoilla.

Standardin SFS-EN 15193 energiatehokkuusindeksin perusteella led-putkivalaistus täyttää energiatehokkaat vaatimukset valaistukselle suhteessa valaistuspinta-alaan. Vastaavasti loisteputkivalaistuksen energiatehokkuusindeksin arvo ylittää standardin määrittelemän arvon, joten ovensuljintehtaan valaistuksen toteutus loisteputkivalaistuksella ei ole standardin mukaisesti energiatehokasta. Energiatehokkuus- ja valaistusstandardien ohjeistamana yrityksen on järkevintä toteuttaa valaistus led-putkillä.

Sähkön laatua mitattiin viikon ajan tehoanalysointilaitteilla ja selvitettiin, esiintyykö sähköverkossa jänniteominaisuuksiin vaikuttavia häiriöitä. Mittaustuloksia verrattiin sähkön laatustandardiin SFS-EN 50160. Sähkön laadun mittauksilla selvitettiin, aiheutuuko yritykselle ylimääräisiä kustannuksia huonosta sähkön laadusta.

Mittaustulosten mukaan sähkön laatu täyttää standardin SFS-EN 50160 mukaiset ehdot jänniteominaisuuksille. Sähkön laadusta ei siis aiheudu merkittäviä taloudellisia kustannuksia jännitteen harmonisten yliaaltojen tai muiden jännitehäiriöiden takia. Ovensuljintehtaan loistehon kompensointi on toteutettu asianmukaisesti, joten yritykselle ei aiheudu kustannuksia loistehomaksuista. Lisäksi kompensointiparistot sisältävät estokelan, joka estää harmonisten yliaaltojen syntyminen resonoinnin vaikutuksesta sähköverkossa.

Energianseurantajärjestelmästä tehtiin suunnitelma, jonka avulla voitaisiin seurata ja tehostaa energiankulutusta ovensuljintehtaan eri osa-alueilla. Suunnitelmassa huomioitiin standardien ohjeistukset energianmittaus- ja energianhallintajärjestelmien toteutukseen. Pilvipalvelupohjaisen energianseurantapalvelun avulla energiankulutusta voidaan seurata mittapistekohtaisesti ja kulutustietoja voitaisiin tarkastella tietokoneiden ja äylaitteiden välityksellä. Lisäksi energiankulutustilastoja voitaisiin näyttää reaaliaikaisesti koko tehtaan henkilöstölle, esimerkiksi info-televisioista.

Opinnäytetyön pohjalta jatkotutkimusta voitaisiin tehdä led-putkivalaistuksen valaistusvoimakkuusmittausten, sähkön laadun mittausten ja energianseurantajärjestelmän toteutuksen jälkeisestä vaiheesta. Todennäköisesti yritys päättää toteuttaa koko ovensuljintehtaan valaistuksen led-putkivalaistuksena, joten valaistuksen jatkotutkimukset voisivat koskea valaistusvoimakkuusmittauksia.

Sähkön laadun tutkiminen rajattiin koskemaan jänniteominaisuuksien häiriötä, joten lisäksi voitaisiin tutkia tarkemmin sähköverkossa esiintyviä virran ja tehojen harmonisia yliaaltoja. Mittauksia voitaisiin tehdä ovensuljintehtaan pääsähkökeskuksen jälkeisiltä nousu-, ryhmä- ja jakokeskuksilta sekä laitteittain. Opinnäytetyössä sähkön laatua mitattiin ovensuljintehtaalta, mutta sähkön laatua kannattaisi mitata myös päätehtaalta. Tällöin saataisiin selvitettyä koko Joensuun tehtaan sähkön laadun vaikutus energiankulutukseen sekä mahdolliset kehittämistoimenpiteet.

Energia seurantajärjestelmän käyttökelpoisuutta olisi mahdollista tutkia tarkemmin sen toteutusvaiheen jälkeen ja tarvittaessa siihen voitaisiin lisätä uusia mittauspisteitä. Yritys voisi jälkeinpäin laajentaa energianseurantajärjestelmän myös päätehtaalte, jolloin se kattaisi koko tehdasalueen.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ABLOY OY 2017a. Abloy Oy yrityksenä [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-07.] Saatavissa: <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/yritys>
- ABLOY OY 2017b. Tietoa meistä [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-07.] Saatavissa: <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/yritys/tietoa-meista/>
- ABLOY OY 2017c. Yhteystiedot [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-07.] Saatavissa: <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/yritys/yhteystiedot>
- ABLOY OY 2017d. Työpaikat [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-07.] Saatavissa: <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/yritys/tyopaikat/>
- ABLOY OY 2017e. Kestävä kehitys [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-07.] Saatavissa: <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/yritys/kestava-kehitys/>
- ABLOY OY 2017f. Teemme ilmastotyötä [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-10.] Saatavissa: <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/ajankohtaista/tiedotteita/uutiset-2014-2015/uutiskategoria-2014-2015/teemme-ilmastotyota/>
- ABB 2000. TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: Sähkön laatu [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2017-03-22.] Saatavilla: [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04\\_0\\_S%84hk%94n%20laatu.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf)
- ABB OY 2011. Voiko sähkö olla laadukasta? Luonnollisesti [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2017-03-22.] Saatavissa: <https://library.e.abb.com/public/9b156203603ca55dc1257823002f9625/ABB%20Sahkon%20laadun%20mitaus%20low%20res.pdf>
- AHORANTA, Jukka 2015. Sähkötekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- AHPONEN, Veikko ja SUOMEN VALOTEKNILLINEN SEURA RY 1998. Valaistustekniikka-sarja osa 2. Lamput ja valaisimet. Espoo: Sähköinfo.
- EUROPEAN ASSOCIATION OF ELECTRICAL CONTRACTORS [2006]. Ratkaisuja sähkön laadun ongelmiin, urakoitsijan ja asiakkaan yhteinen etu. (Suom. Oili Räsänen.) Sähköala-lehden numerossa 11/2006. Espoo: Sähköinfo Oy
- ALUEHALLINTAVIRASTO 2010. Itä-Suomi ympäristövastuu alue. Päätos Nro 1/10/1 Dnro ISAVI/79/04.08/2010 [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2017-04-14.] Saatavissa: [http://www.avi.fi/docu-ments/10191/56916/isavi\\_paatos\\_1\\_10\\_1-2010-01-25.pdf](http://www.avi.fi/docu-ments/10191/56916/isavi_paatos_1_10_1-2010-01-25.pdf)
- AURA LIGHT 2016. Easy Selection T8 LED retrofit G2-esite [verkkajulkaisu]. Saatavissa: [http://www.auralight.fi/wp-content/uploads/2015/09/FI\\_Easy-Selection\\_T8\\_LED\\_Retrofit-G2.pdf](http://www.auralight.fi/wp-content/uploads/2015/09/FI_Easy-Selection_T8_LED_Retrofit-G2.pdf)
- CELMA 2009. Guide for the application of the Commission Regulation (EC) No. 245/2009 on "Tertiary lighting sector products". Ecodesign requirements for fluorescent and high intensity discharge lighting products [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2017-04-04.] Saatavissa: [http://www.tridonic.com/se/download/CELMA\\_Ecodesign\\_1st\\_edition\\_Dec2009\\_full.pdf](http://www.tridonic.com/se/download/CELMA_Ecodesign_1st_edition_Dec2009_full.pdf)
- GLAMOX LUXO LIGHTING 2013. Kymmenen asiaa, jotka sinun tulee tietää ledeistä [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2017-03-17.] Saatavissa: [https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi\\_singlepages-2.pdf](https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi_singlepages-2.pdf)
- ENERGIANHALLINTAJÄRJESTELMÄT 2012. Vaatimukset ja käyttöohjeet. SFS-EN ISO 50001. Vahvistettu 2012-02-13. Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- ENERGIATEHOKKUUSSOPIMUKSET 2017a. Energiatehokkuussopimukset [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-10.] Saatavissa: <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/energiatehokkuussopimukset/>
- ENERGIATEHOKKUUSSOPIMUKSET 2017b. Sopimuksiin liittyneet [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-10.] Saatavissa: <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/sopimuksiin-liittyneet/>
- ENERGIIVIRASTO 2017. Energiatehokkuus [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-11.] Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/energiatehokkuus>

- ENSTO 2009. LED [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-17.] Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1233229692599/1233229715150.html>
- FAGERHULT 2012-2013. Indoor lighting solutions [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2017-03-17.] Saatavissa: [http://np.netpublicator.com/np/n60965222/Katalog\\_PDF\\_FI.pdf](http://np.netpublicator.com/np/n60965222/Katalog_PDF_FI.pdf)
- FLUKE CORPORATION 2012. Fluke 434 II/435 II/437 II 3-vaiheinen energia- ja sähkönlaatuanaly-saattori [verkkojulkaisu]. Käyttöohje. [Viitattu 2017-04-05.] Saatavissa: [http://assets.fluke.com/ma-nuals/F430-II\\_umfin0100.pdf](http://assets.fluke.com/ma-nuals/F430-II_umfin0100.pdf)
- HALONEN, Liisa ja LEHTOVAARA, Jorma 1992. Valaistustekniikka. Espoo: Otatieto Oy.
- HALONEN, Liisa, RAUNIO, Johannes ja TETRI, Eino 2011. Lamppuopas. Opas hehkulamppujen kor-vaamiseksi. Eko Valo [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2017-03-17.] Saatavissa: <http://www.ligh-tinglab.fi/ekovalo/News/lamppuopas.pdf>
- HEIKKILÄ, Ilkka, HUUMO, Mikko, SIITONEN, Sari, SEITSALO, Pirkko ja HYYTIÄ, Ville 2008. Teolli-suuden energiatehokkuus. Suomen Ympäristö [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2017-03-11.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/1324/BAT\\_Teollisuuden\\_energiatehokkuus.pdf](http://www.motiva.fi/files/1324/BAT_Teollisuuden_energiatehokkuus.pdf)
- HIDE-A-LITE 2017. LED-koulu. Ominaisuudet [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-17.] Saatavissa: [http://www.hidealite.fi/LED-koulu/2\\_-\\_Ominaisuudet/2155184.html](http://www.hidealite.fi/LED-koulu/2_-_Ominaisuudet/2155184.html)
- HIDE-A-LITE, 2017-03-17. Led-moduulin poikkileikkaus. [digikuva]. Saatavissa: [http://www.hi-dealite.fi/LED-koulu/2\\_-\\_Ominaisuudet/2155184.html](http://www.hi-dealite.fi/LED-koulu/2_-_Ominaisuudet/2155184.html)
- JUVONEN, Jaana 2007. Avaimen arvoinen Abloy 100 vuotta. Joensuu: Abloy Oy.
- KORPINEN, Leena 1998. Sähkövoimatekniikanopus. Muuntajat ja sähkölaitteet [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2017-03-23.] Saatavissa: [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahko-laitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahko-laitteet.pdf)
- KOSKELAINEN, Sanna 2013. LED-valaistuksella suuriin säästöihin. Promaint-lehti [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-17.] Saatavissa: <http://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/LED-valaistuksella-suuriin-saastoihin>
- LAMPPUTIETO 2017. Loisteputket ja LED-valoputket [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-17.] Saatavissa: <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/alasivu/loisteputket-ja-led-valoputket/>
- LINNA, Jutta ja NUUTINEN, Jenni 2012. Energiaopas pienille ja keskisuurille yrityksille. Elinkeinoelä-mänkeskusliitto [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2017-03-11.] Saatavissa: <https://ek.fi/wp-content/uploads/energiaopas.pdf>
- NOKIAN CAPACITORS 2008. Pienjännitetuotteiden tuote-opas [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2017-04-12.] Saatavissa: <http://www.sahkonumerot.fi/5704580/doc/brochure/>
- MATTILA, Vesa-Ville, MOTIVA OY 2012. Energiatehokas teollisuuskiinteistö. Motiva Oy [verkkojul-kaisu]. [Viitattu 2017-03-11.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/5847/Energiatehokas\\_teolli-suuskiinteisto.pdf](http://www.motiva.fi/files/5847/Energiatehokas_teolli-suuskiinteisto.pdf)
- MOTIVA OY 2012. Kiinteistön energiatehokkaat sähkötekniset ratkaisut. Motiva Oy [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2017-03-12.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/7974/Kiinteiston\\_energiatehok-kaat\\_sahkotekniset\\_ratkaisut.pdf](http://www.motiva.fi/files/7974/Kiinteiston_energiatehok-kaat_sahkotekniset_ratkaisut.pdf)
- MOTIVA OY 2014. Energiatehokkuuden mittaus- ja seurantarjestelmän hankinta. Motiva Oy [verk-kojulkaisu]. [Viitattu 2017-03-24.] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/9845/Energiatehokkuu-den\\_mittaus-ja\\_seurantarjestelman\\_hankinta.pdf](https://www.motiva.fi/files/9845/Energiatehokkuu-den_mittaus-ja_seurantarjestelman_hankinta.pdf)
- MOTIVA OY JA STEK 2009. Valaistusta on uusittava! Motiva Oy [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2017-03-12.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/2096/Valaistusta\\_on\\_uusittava\\_Tarkeaa\\_tietoa\\_kun-tien\\_paattajille.pdf](http://www.motiva.fi/files/2096/Valaistusta_on_uusittava_Tarkeaa_tietoa_kun-tien_paattajille.pdf)
- MOTIVA OY JA WIS CONSULTING OY 2010. Energiatehokkuus strategiasta arkeen. Motiva Oy. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2017-03-24.] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/4094/Energiatehok-kuus\\_strategiasta\\_arkeen.pdf](https://www.motiva.fi/files/4094/Energiatehok-kuus_strategiasta_arkeen.pdf)



- MÄNNISTÖ, Matti, HIETALAHTI, Lauri, SEESVUORI, Reino, SEESVUORI, Vesa ja WILÉN, Tarmo 2006. Yliaallot ja kompensointi. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- RAKENNUSTEN ENERGIA TEHO KUUS 2008. Valaistuksen energiatehokkuus. SFS-EN 15193. Vahvistettu 2008-01-21. SESKO ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- RUPPA, Erkki, LILJA, Tuomo 2016. Sähkötekniikkaa sivuaineopiskelijoille. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- SILVONEN, Kimmo 2009. Sähkötekniikka ja piiriteoria. Helsinki: Otatieto.
- ST 21.34 2015. Ohjeita energiamittausten ja energianhallintajärjestelmien toteutukseen. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo Oy.
- ST 52.50 2006. Sähkön laatu. Käsiteet ja vaatimukset. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo Oy.
- ST 51.51.04 2006. Sähkön laatu. Vinokuormitus, nollajohdin ja transienttiylijännitteet. Espoo: Sähköinfo Oy.
- ST 58.08 2009. Valolähteiden ominaisuudet. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo Oy.
- STEK 2017. Valonlähteet [verkkoinfot]. [Viitattu 2017-03-17.] Saatavilla: [https://www.stek.fi/Energiate-hokkuutta\\_sahkolla/Valaistus/fi\\_FI/Valonlahteet/](https://www.stek.fi/Energiate-hokkuutta_sahkolla/Valaistus/fi_FI/Valonlahteet/)
- SUOMEN VALOTEKNILLINEN SEURA RY 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus [verkkopublication]. Taustaraaportti. [Viitattu 2017-03-12.] Saatavissa: [http://www.valosto.com/tiedostot/SVS\\_Valaistushankintojen\\_energiatehokkuus\\_V4.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf)
- TIENSUU, Antti 2010. Uusi valaistuskirja. Helsinki: Viherympäristöliitto ry.
- TURVALLISUUS- JA KEMIKAALIVIRASTO 2014. LED-valoputket loisteputkien korvaajina [verkkopublication]. Muistio. [Viitattu 2017-03-17.] Saatavissa: [http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko\\_ja\\_hissit/ohjeet/LED\\_valoputket\\_loisteputkien\\_korvaajina.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/ohjeet/LED_valoputket_loisteputkien_korvaajina.pdf)
- VALO JA VALAISTUS 2011. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. SFS-EN 12464-1. Vahvistettu 2011-10-10. SESKO ry. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- YLEISESTÄ JAKELUVERKOSTA SYÖTETYN SÄHKÖN JÄNNITEOMINAISUUDET 2010. SFS-EN 50160. Vahvistettu 2010-11-22. SESKO ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

## LIITE 1: MITTALAITTEET



Tenmars TM 209 -valaistusvoimakkuusmittari (Rummukainen 2017-03-28.)



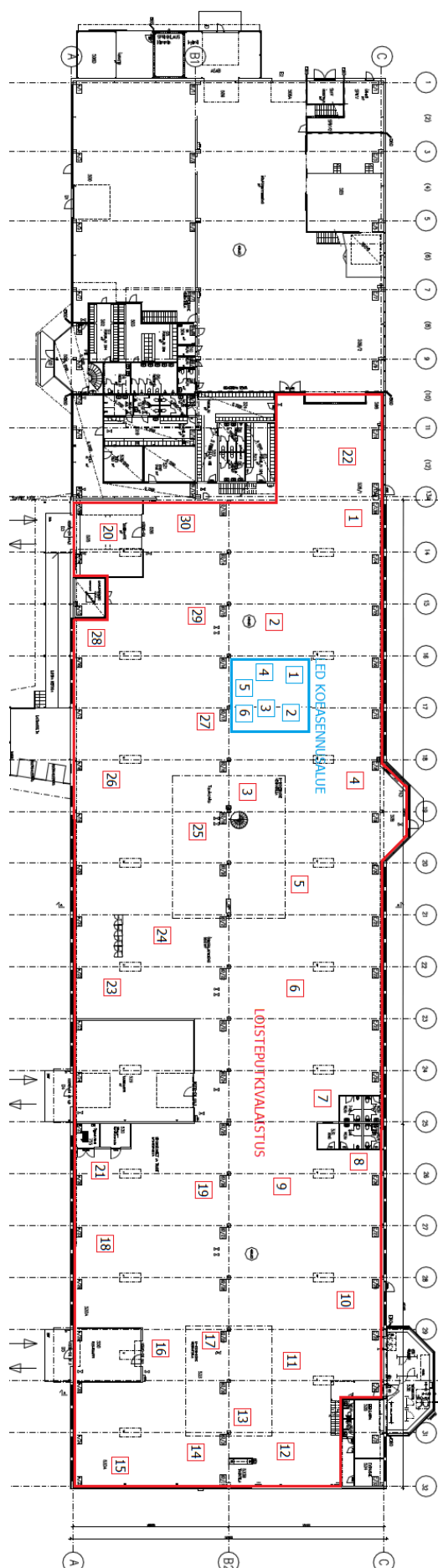
Fluke 435 II -tehoanalysaattori (Rummukainen 2017-04-05.)

## LIITE 2: SFS-EN 50160 MÄÄRITTELEMÄT EHDOT JÄNNITEOMINAISUUKSILLE

Jännitteen ominaisuus	Mittausaika/mittaustapa	Standardin laatu, $U_n = 230\text{ V}$
Verkkotaajuus	Yhden viikon ajan 10 sekunnin keskiarvoina	$50\text{ Hz} \pm 1\%$ (49,5...50,5 Hz) 99,5 % vuodesta $50\text{ Hz} \pm 4...6\%$ (47...52 Hz) 100 % ajasta
Jännitetason vaihtelut	Yhden viikon ajan 10 minuutin keskiarvoina	$\pm 10\%$ (207...253 V) 95 % keskiarvoista $\pm 10...15\%$ (195,5...253 V) 100 % keskiarvoista
Nopeat jännitemuutokset	Muutosten lukumäärä	$U_n \pm 0...10\%$ muutoksesta
Välkyntä	Yhden viikon ajan 10 minuutin jaksossa	95 % $P_{lt}$ -arvoista $\leq 1$
Verkon signaali-jännitteet	Yhden vuorokauden ajan kolmen sekunnin keskiarvoina	99 % $\leq$ standardin rajakäyrästä
Jakelujännitteen epäsymmetria	Yhden viikon ajan 10 minuutin jaksossa	95 % jakelujännitteen $u_{sh}$ - arvoista $\leq 2\%$
Jännitekuopat	Kuoppien lukumäärä	1...90 % (2,3...207 V)
Keskeytykset	Keskeytysten lukumäärä	Keskeytykset, kun $U_n < 1\%$ (0...2,3 V)
Harmoniset yliääntöjännitteet	Yhden viikon ajan 10 minuutin jaksossa	95 % jokainen yksittäinen $U_h$ -arvo standardin taulukosta THD-arvo $\leq 8\%$
Käyttötaajuiset yli-jännitteet	Yli-jännitteiden lukumäärä	$U_n > 10\%$
Transienti yli-jännitteet	Yli-jännitteiden lukumäärä	nousuaika 0,3 $\mu\text{s}$ ...5 ms ja kesto 0...5ms.

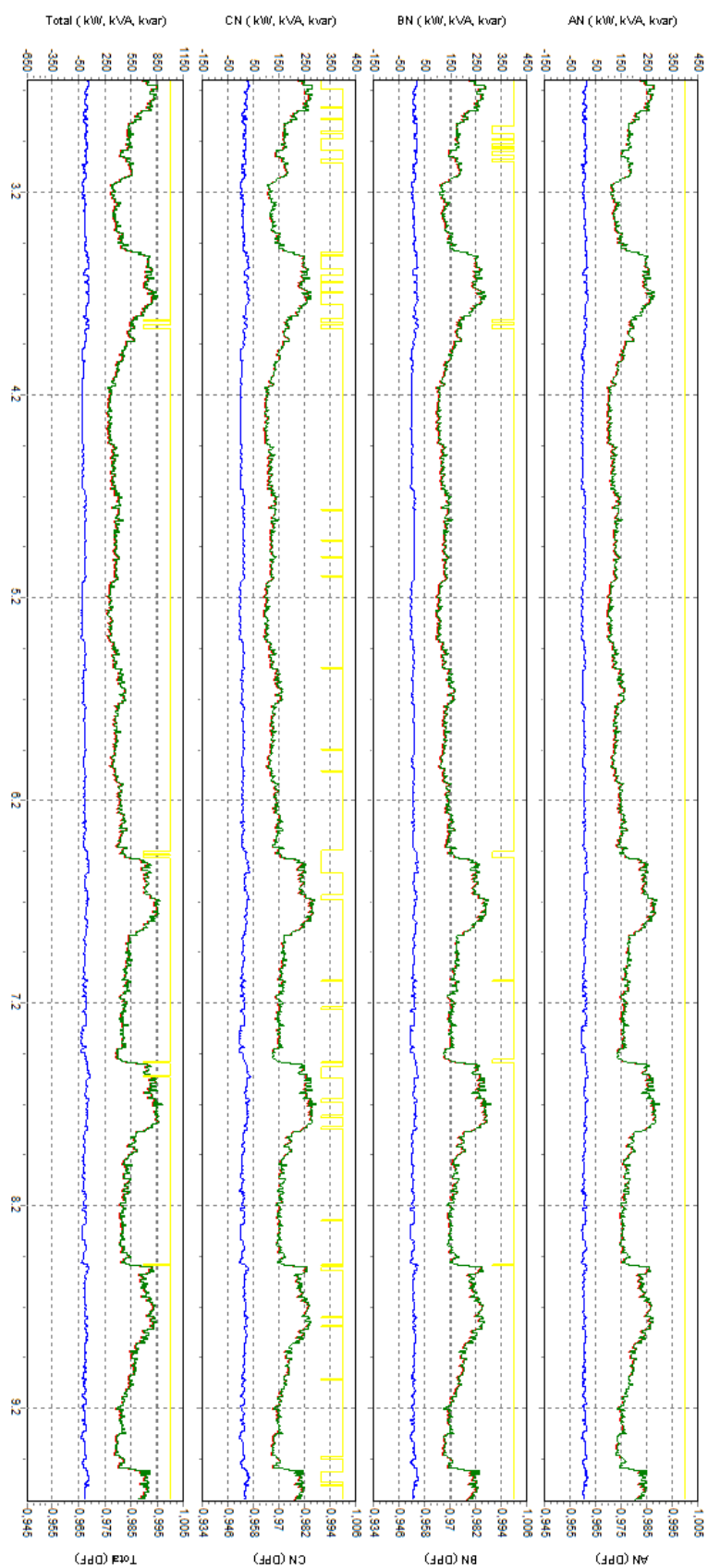
(Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010, 19-28.)

## LIITE 3: ABLOY OY OVENSULJINTEHTAAN POHJAKUVA

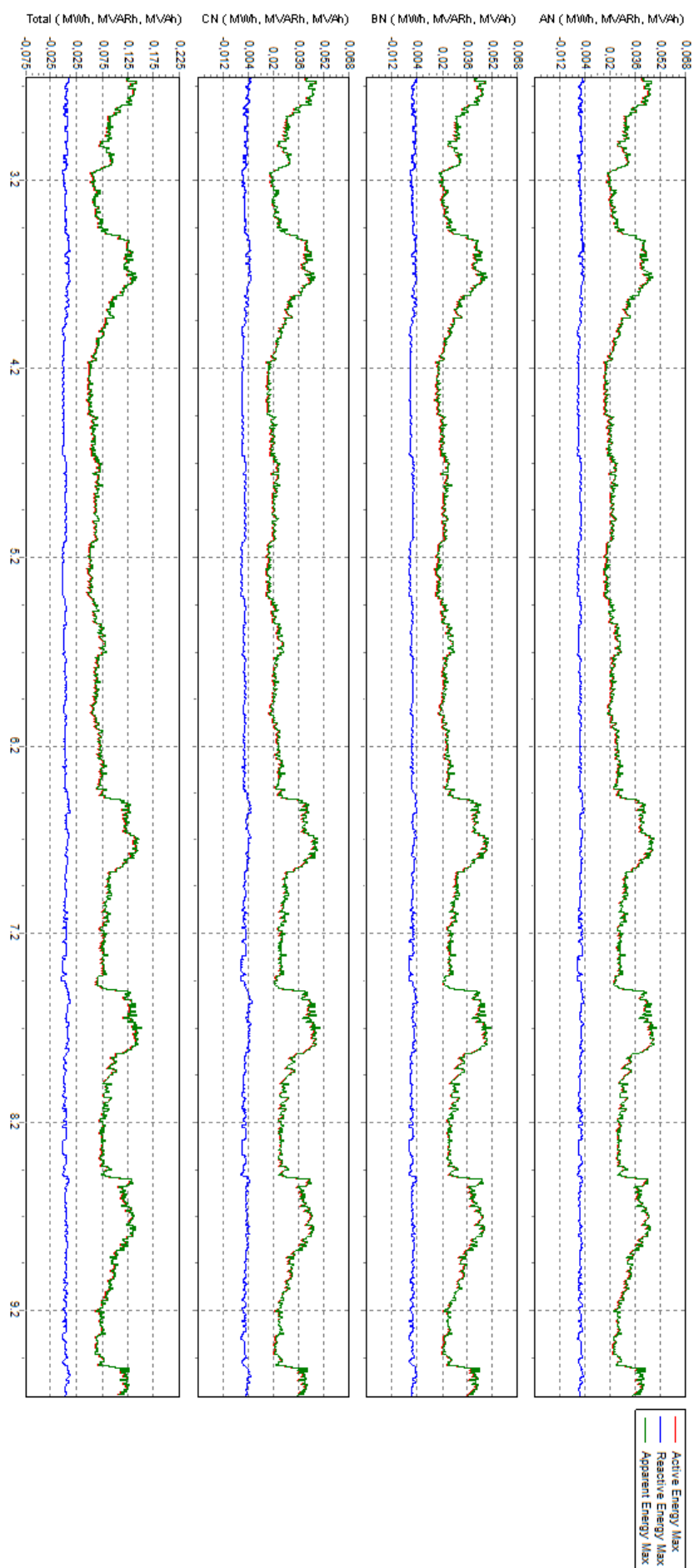


(Abloy Oy 2017, Ovensuljintehtaan 1. kerroksen pohjakuva.)

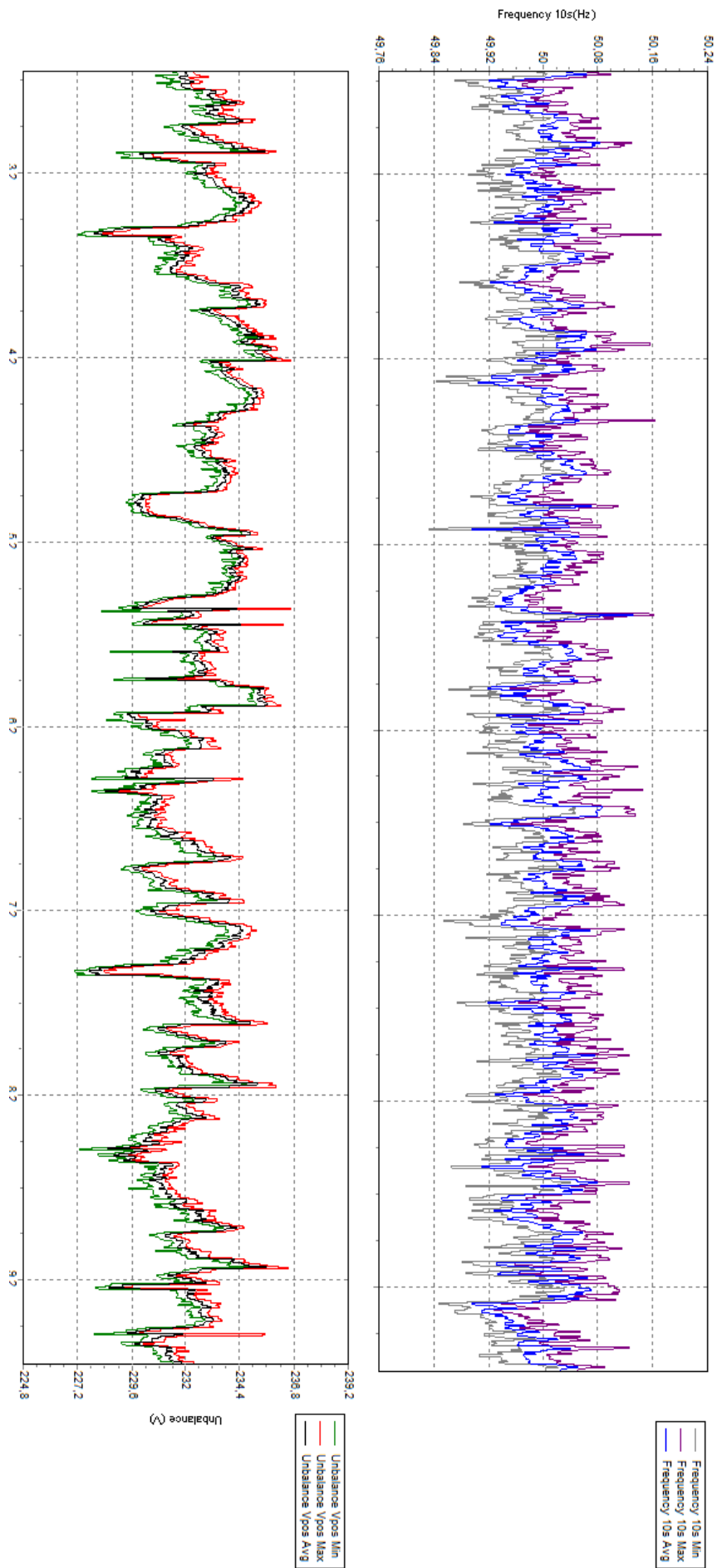
## LIITE 4: TEHOSUUREET JA TEHOKERROIN



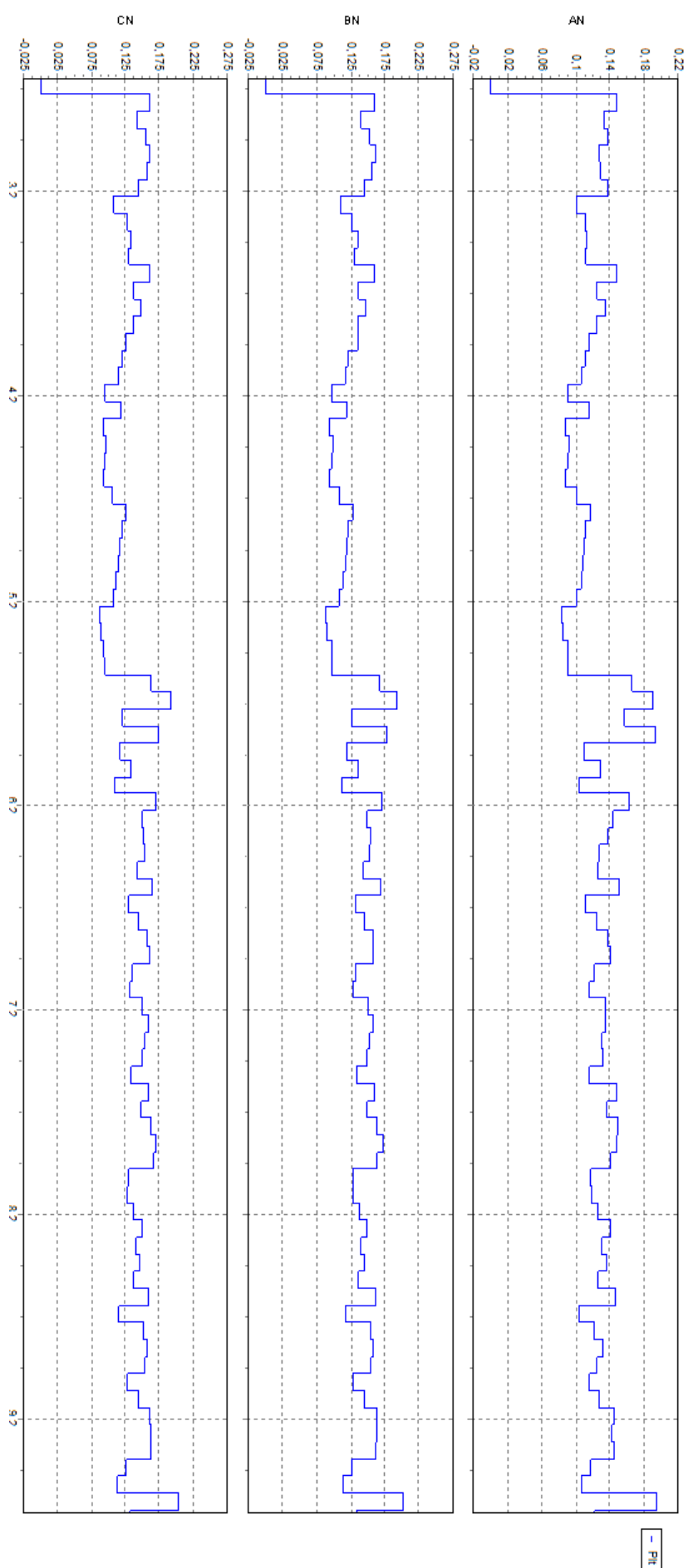
## LIITE 5: ENERGIANKULUTUS



LIITE 6: TAAJUUDEN JA JÄNNITTEEN VAIHTELU

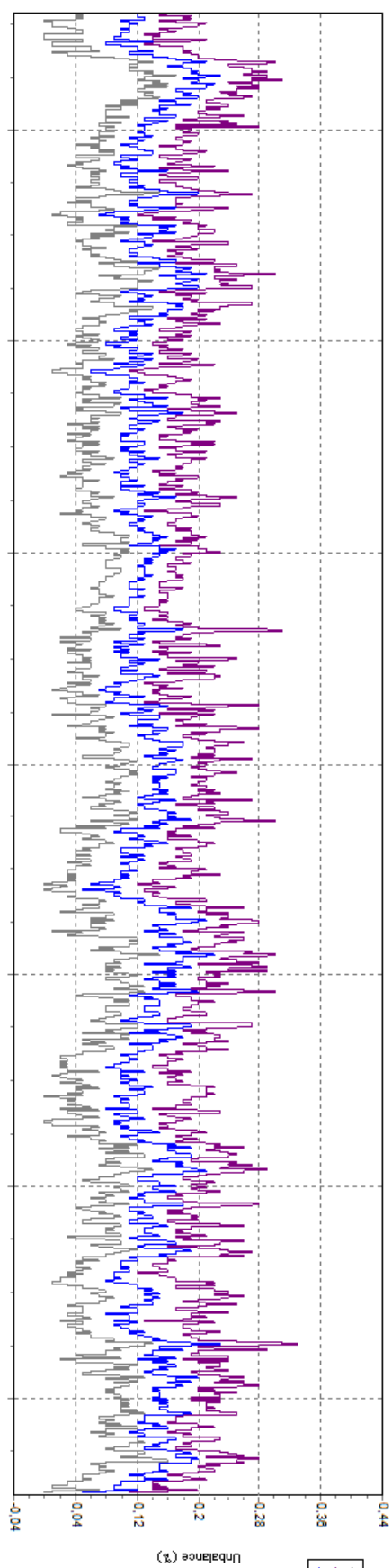


## LIITE 7: JÄNNITTEEN VÄLKYNTÄ

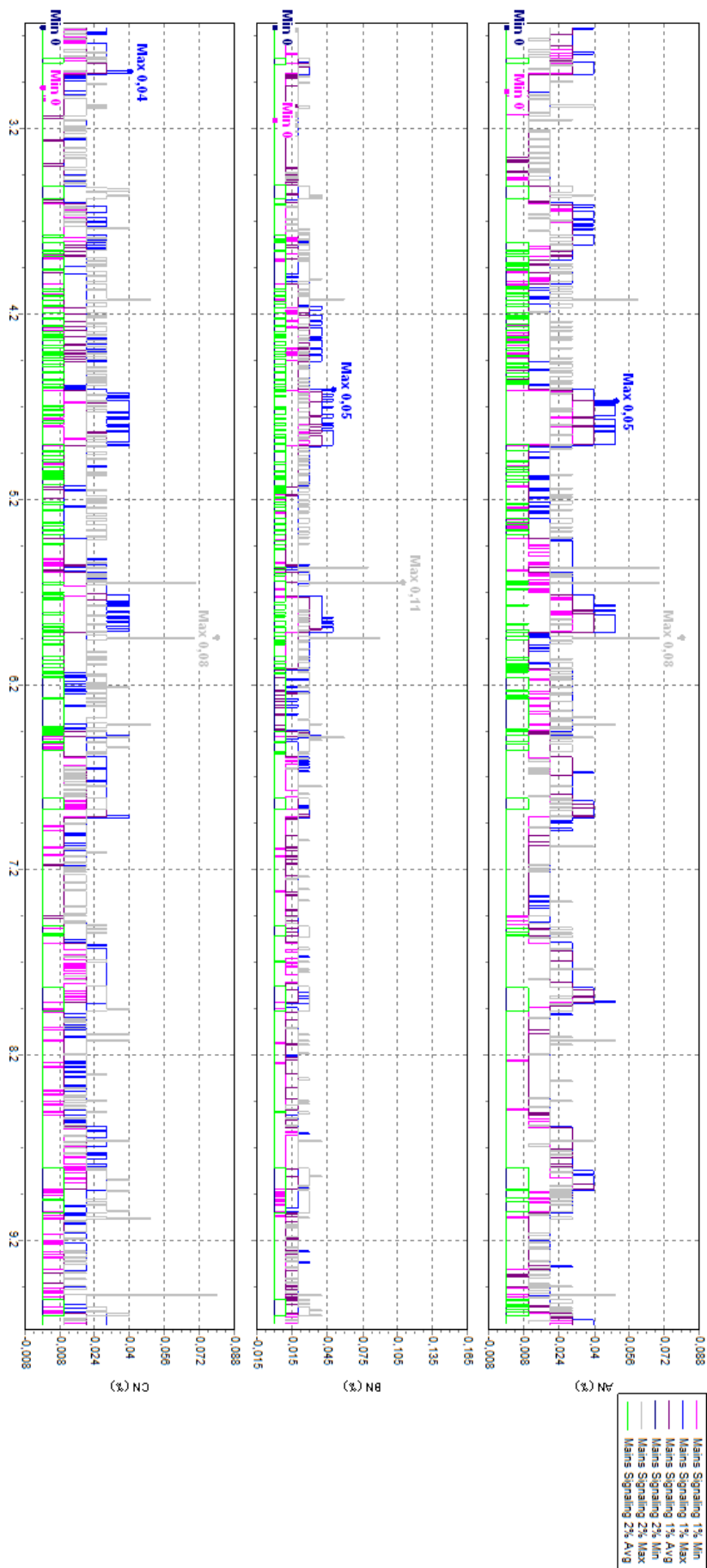




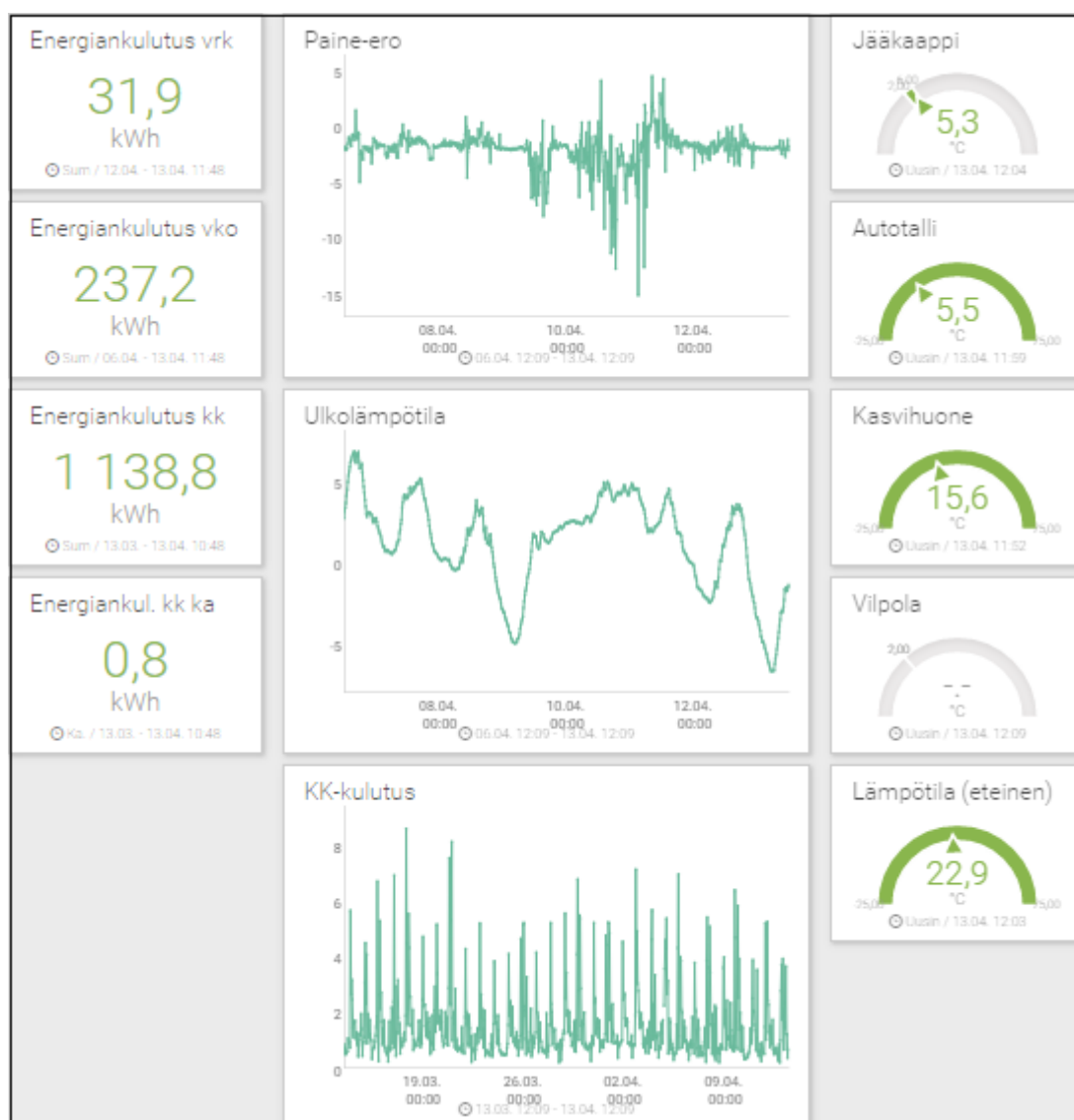
## LIITE 8: JÄNNITTEEN EPÄSYMMETRIA



LIITE 9: VERKON SIGNAALIJÄNNITTEET



## LIITE 10: YLEISNÄKYMÄ



(Sensire Oy 2017, Energiaseurantapalvelun yleisnäkymä.)

## LIITE 11: TILASTOT-NÄKYMÄ



(Sensire Oy 2017, Energianseurantapalvelun tilastot-näkymä erään kohteen energian kokonaiskulutuksesta.)